

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИЯТШ

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии/Физика атомного ядра и частиц

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование спектрально-угловых характеристик излучения в миллиметровом диапазоне длин волн при взаимодействии с мишенями</b>

УДК 621. 384. 664:539. 121:539. 194

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник ИШ ФВЭП	Наumenко Г.А	Д.ф.-м.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Татьяна Сергеевна	К.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н	К.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать

	основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Код результата	Результат обучения (компетенции)
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИЯТШ

Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии/ Физика  
атомного ядра и частиц

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Бычков П.Н.  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич

Тема работы:

Исследование спектрально-угловых характеристик излучения в миллиметровом диапазоне длин волн при взаимодействии с мишенями

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14.06.2018

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Излучение миллиметрового диапазона длин волн, интерференция, дифракция, дисперсия, диэлектрическая периодическая решётка, тефлоновая призма, интерферометр Мартина-Паппетта, показатель преломления излучения, поляризация.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Обзор и анализ литературы, изучение хода лучей и состояния поляризации излучения в интерферометре Мартина-Паплетта, определение показателя преломления с помощью интерферометра Мартина-Паплетта, монохроматизация излучения с помощью диэлектрической периодической решётки, изучение спектральной дисперсии тефлоновой призмы, определение показателя преломления излучения при помощи тефлоновой призмы.
---	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШИП, к.ф.н. Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ, к.ф.-м.н. Гоголева Татьяна Сергеевна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник ИШ ФВЭП	Науменко Г.А	Д.ф.-м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа ИЯТШ

Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии/ Физика  
атомного ядра и частиц

Уровень образования бакалавр

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
1.02.2018	Разработка технического задания для НИР	5
27.03.2018	Выбор направления исследования	15
7.04.2018	Планирование эксперимента	25
18.04.2018	Проведение экспериментов	30
2.05.2018	Анализ экспериментальных данных	15
27.05.2018	Оформление отчётов по НИР	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник ИШ ФВЭП	Науменко Г.А	Д.ф.-м.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н	К.т.н., доцент		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич

Школа	ИЯШТ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность;</li> <li>– требования охраны труда при работе на электроустановках ;</li> <li>– требования охраны труда при работе на ЭВМ.</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Татьяна Сергеевна	к.ф.-м.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Попов Константин Евгеньевич

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоёмкости выполнения работ;
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	3. Разработка графика проведения научного исследования; 4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 4.1 Расчёт материальных затрат НТИ; 4.2 Расчёт накладных расходов НТИ;
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	5. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

10.05.2018

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К.ф.н., доцент		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
--------	-----	---------	------



0A4Б	Попов Константин Евгеньевич		
------	-----------------------------	--	--

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 82 с., 40 рис., 17 табл., 11 источников.

Ключевые слова: ГГц излучение, интерферометр Мартина-Паплетта, показатель преломления, периодическая решётка, тефлоновая призма, интерференция, дифракция, дисперсия.

Цель работы – Исследование спектрально-угловых характеристик излучения при взаимодействии с мишенями, а также проверка и развитие методики измерения электромагнитных характеристик мишеней, изготовленных с использованием новых технологий, для проведения экспериментов по исследованию взаимодействия поля релятивистских электронов с веществом.

В процессе исследования проводились:

Анализ раздела общей физики “Оптика и волны”. Изучение хода лучей и состояние поляризации в интерферометре Мартина-Паплетта. Определение показателя преломления диэлектрических мишеней для излучения миллиметрового диапазона с использованием интерферометра Мартина-Паплетта. Проводилось сравнение с табличными значениями [3]. Монохроматизация излучения с использованием периодической решётки. Выполнен вывод дисперсионного соотношения для дифракционной решётки. Изучалось явление спектральной дисперсии тефлоновой призмы.

Область применения: Инфракрасная спектроскопия и спектроскопия в миллиметровом диапазоне длин волн.

Значимость работы: Повышение разрешения и упрощение методики определения показателя преломления миллиметрового диапазона, повышение степени монохроматизации излучения с использованием периодической решётки и определение материалов дисперсии материалов, прозрачных для миллиметрового диапазона. Дальнейшее использование методик для экспериментов по взаимодействию поля релятивистских электронов с веществом.

Выпускная квалификационная работа выполнена в международной лаборатории “Фотон” ИШ ФВЭП ТПУ, все измерения проведены в лаборатории “Фотон”.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 с применением пакетов Wolfram Mathematica 9 и Microsoft Excel 2013.

## Оглавление

Введение.....	12
1. Обзор литературы.....	13
2. Явление интерференции излучения .....	14
2.1 Многолучевая интерференция.....	16
2.2 Интерферометр Мартина–Паппетта.....	18
2.3 Соотношение для определения показателя преломления материала .....	20
2.4 Методика определения показателя преломления .....	21
2.5 Анализ и обработка измеренных интерферограмм .....	24
3. Явление дифракции излучения.....	28
3.1 Дифракция Фраунгофера на щели.....	29
3.2 Дифракция Фраунгофера периодической решётке .....	30
3.3 Дисперсионное соотношение.....	33
3.4 Определение степени монохроматизации излучения периодической решёткой.....	34
4. Явление спектральной дисперсии излучения .....	44
4.1 Ход лучей в тефлоновой призме.....	45
4.2 Измерение спектральной дисперсии тефлоновой призмы .....	47
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	54
5.1 Анализ конкурентных технических решений .....	54
5.2 SWOT – анализ .....	55
5.3 Планирование научно–исследовательских работ .....	56
5.4 Структура работ в рамках научного исследования .....	58
5.4.1 Разработка графика проведения научного исследования .....	59
5.5 Бюджет научно–технического исследования.....	63
5.5.1 Расчёт материальных затрат НИИ .....	63
5.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	63
5.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	65
5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	65
5.5.5 Накладные расходы.....	67
5.5.6 Формирование бюджета затрат научно– исследовательского проекта..	67

5.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	68
6 Социальная ответственность .....	70
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	71
6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПК и излучателем.....	71
6.2.1 Организация рабочего места оператора ПК.....	71
6.2.2 Технические мероприятия.....	73
6.2.3 Условия безопасной работы.....	74
6.3 Электробезопасность .....	77
6.4 Пожарная и взрывная безопасность .....	78
Заключение .....	80
Список литературы .....	81

## **Введение**

Спектральная и угловая характеристики являются важными свойствами электромагнитного излучения. Данные характеристики позволяют определить применимость излучения в эксперименте, то есть насколько состав излучения по длинам волн либо энергиям будет подходить для исследований, и также распределение интенсивности в пространстве, что даёт возможность рассчитать геометрию эксперимента.

Излучение, провзаимодействовавшее с мишенью, изменяет свою первоначальную спектрально–угловую характеристику, тем самым позволяя расширить область применения излучения. Одними из таких областей является субмиллиметровая спектроскопия, а именно определение показателя преломления излучения, монохроматизация излучения и изучение спектральной дисперсии материалов.

В настоящее время существует несколько способов определения показателя преломления материала для электро-магнитного излучения , например: использование явления отражения электро-магнитных волн, так называемый закон Снеллиуса, и интерференция волн. Первый способ, наиболее часто используемый, но он неточен и даёт величины показателя преломления с большими погрешностями. Предложенный способ определения показателя преломления материалов использует интерферометр Мартина-Палетта. Использование интерферометра позволяет упростить схему определения показателя преломления материала и повысить точность определения данного показателя.

Этот же интерферометр является анализирующим элементом при изучении монохроматизации излучения с использованием периодической решётки. Вопрос о повышении степени монохроматичности излучения волнует любого исследования, потому что чем выше степень монохроматичности, тем точнее данные, полученные в эксперименте, и выше точность определяемых характеристик.

## 1. Обзор литературы

Интерферометр Мартина – Паппетта являлся одним из основных элементов установки, необходимой для измерения интерферограмм и определения показателя преломления материала для миллиметрового диапазона длин волн. Ход лучей в интерферометре, поляризация излучения, обработка интерферограмм и получение спектра излучения, сама конструкция интерферометра рассмотрены в работе [5]. Формула для определения разрешения Фурье – спектрометра, которым и является интерферометр Мартина – Паппетта, фигурирует в [6]. В работе [5] центральное место уделено диагностике пучка заряженных частиц с использованием интерферометра Мартина – Паппетта, в частности в диагностике используется излучение генерируемое пучком заряженных частиц, что натолкнуло на идею использовать интерферометр Мартина – Паппетта для определения показателя преломления материала для излучения миллиметрового диапазона.

Использование тефлоновой призмы в экспериментах, связанных с излучением, а также техническое решение для измерения угловых характеристик излучения под названием “карусель” представлены в работе научного руководителя данной ВКР [4].

Табличные значения показателей преломления материала представлены в работе [3].

Явления двулучевой и многолучевой интерференции, дифракции на щели и периодической решётки, спектральной дисперсии материала (среды) и излучения, а также закон Снеллиуса подробно рассмотрены в учебном пособии [1]. Отдельно использование периодической решётки, как спектрального элемента и монохроматизирующего элемента, приведено в учебном пособии [2].

## 2. Явление интерференции излучения

Интерференцией электромагнитного излучения называется перераспределение интенсивностей накладывающихся друг на друга волн. При явлении интерференции возникают устойчивые максимумы и минимумы интенсивности излучения во времени. Условием для наблюдения интерференции является когерентность излучения. Когерентность – это согласованность в протекании волновых процессов. Например для интерференции двух волн необходимо, чтобы они имели одинаковые либо бесконечно близкие частоты (длины волн), и их разность фаз была постоянной величиной.

Рассматривается ситуация, когда две волны с различными амплитудами и начальными фазами складываются друг с другом:

$$A_1 = A_{max1} * \cos(\omega t + \alpha_1), \quad (1)$$

$$A_2 = A_{max2} * \cos(\omega t + \alpha_2), \quad (2)$$

Амплитуда результирующего колебания в данной точке определяется выражением:

$$A^2 = A_{01}^2 + A_{02}^2 + 2A_{01}A_{02} \cos \delta, \quad (3)$$

где  $\delta = \alpha_2 - \alpha_1$  – разность фаз.

В случае некогерентных волн разность фаз  $\delta$  непрерывно изменяется, следовательно  $\delta$  принимает непрерывный ряд значений. Среднее по времени значение величины  $\cos \delta$  равно нулю:

$$\langle A^2 \rangle = \langle A_1^2 \rangle + \langle A_2^2 \rangle \quad (4)$$

В случае когерентных волн  $\cos \delta$  имеет постоянное во времени значение, но своё для каждой точки пространства.

$$I = I_1 + I_2 + 2 * \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (5)$$

Способ получения когерентных волн реализуется следующим образом. Необходимо разделить изначальную волну на несколько волн (в данном случае волна делится на две) и заставить вторичные волны распространяться в средах с разными показателями преломления среды.

Разделение на две когерентные волны производится в точке О (см. рис.1). До точки Р обе волны проходят различные пути с различными показателями преломления сред, в которых они распространяются.

$$A_1 \cos \left[ \omega \left( t - \frac{s_1}{v_1} \right) \right], \quad (6)$$

$$A_2 \cos[\omega(t - s_2/v_2)], \quad (7)$$

$$v_1 = c/n_1, \quad (8)$$

$$v_2 = c/n_2, \quad (9)$$

$$\delta = \omega \left( \frac{s_2}{v_2} - \frac{s_1}{v_1} \right) = \frac{\omega}{c} (n_2 s_2 - n_1 s_1) \quad (10)$$

Необходимо заменить  $\omega/c$  на  $2\pi\nu/c = 2\pi/\lambda$  ( $\lambda$  – длины волн в вакууме), чтобы придать выражению более наглядный вид

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \quad (11)$$

$$\Delta = n_2 s_2 - n_1 s_1 = L_2 - L_1 \quad (12)$$

$\Delta$  есть величина, равная разности оптических длин проходимых волнами путей и называемая оптической разностью хода.

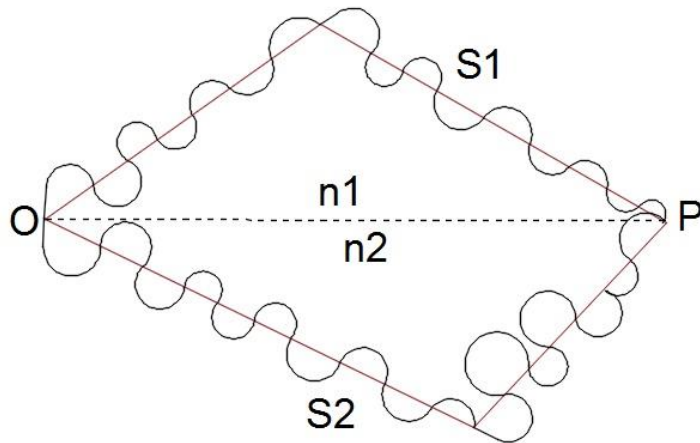


Рисунок 1– Распространение двух когерентных волн в разных средах[1]

Сравнивая с выражением (2), можно сказать, что для наблюдения максимума интенсивности при явлении интерференции (также называют максимум интерференционной картины) необходимо, чтобы разность фаз была кратна  $2\pi$ .

$$2\pi \cdot m = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \Rightarrow$$

$$\Delta = m \cdot \lambda, \quad (13)$$

где  $m$  – целое число ( $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ )

Аналогично для наблюдения минимума интерференционной картины. Разность фаз должна быть такой, чтобы  $\cos \delta$  был равен  $-1$ , следовательно амплитуда колебаний будет равна нулю.

$$(2 \cdot m + 1) \cdot \pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \Rightarrow$$

$$\Delta = (m + 1/2) \cdot \lambda \quad (14)$$

## 2.1 Многолучевая интерференция

В случае, когда интерферируют несколько лучей,  $N$  лучей. Фаза данных лучей отличается на фиксированную величину  $\delta$ .

$$E_1 = a \cdot \exp(i\omega t), \quad E_2 = a \cdot \exp(i(\omega t + \delta)), \dots,$$

$$E_m = a \cdot \exp(i(\omega t + (m - 1)\delta)), \dots,$$

$$E_N = a \cdot \exp(i(\omega t + (N - 1)\delta)).$$

$$E = a \cdot \exp(i\omega t) \cdot \frac{1 - \exp(iN\delta)}{1 - \exp(i\delta)} = \hat{A} \cdot \exp(i\omega t) \quad (15)$$

$$\hat{A} = a \cdot \frac{1 - \exp(iN\delta)}{1 - \exp(i\delta)} = A \cdot \exp(i\alpha) \quad (16)$$

$$\hat{A}^* \hat{A} = A^2 = a^2 \cdot \frac{\sin^2\left(\frac{N\delta}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right)} \quad (17)$$

Для наблюдения главного интенсивного максимума интерференционной картины необходимо, чтобы разность фаз была равна:

$$\delta = 2\pi m \quad (18)$$

Для наблюдения побочного минимума разность фаз должна быть:



$$\delta = \frac{k'}{N} \cdot 2\pi \quad (19)$$

Для наблюдения побочного максимума разность фаз должна быть:

$$\delta = \frac{2k' + 1}{N} \cdot 2\pi \quad (20)$$

## 2.2 Интерферометр Мартина–Паплетта

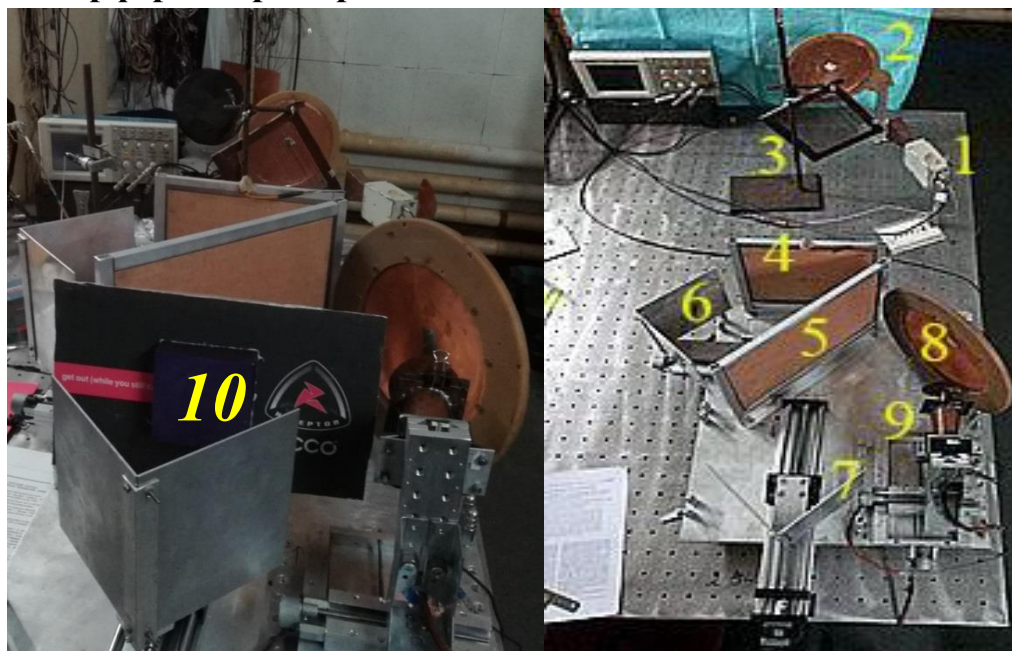


Рис.2 Конструкция интерферометра Мартина – Паплетта: 1 – источник излучения; 2 – параболическое зеркало; 3 – поляризатор; 4 – поляризатор; 5 – делитель пучка (splitter); 6 – неподвижное угловое зеркало; 7 – подвижное угловое зеркало; 8 – параболическое зеркало; 9 – поляризационно-чувствительный детектор; 10 – мишень.

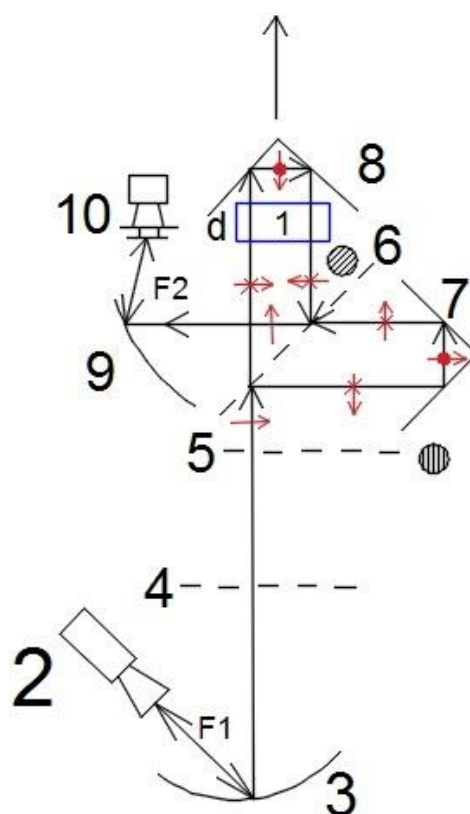


Рисунок 3 – иллюстрация распространения излучения в интерферометре Мартина – Паплетта

Следуя рисунку 3, излучение миллиметрового диапазона, генерируемое источником 2, которое стоит в фокусе параболического зеркала 3, попадает на параболическое зеркало 3, излучение отражается и в дальнейшем формируется квазипараллельный пучок, то есть пучок имеет малую расходимость. Излучение пропускается через поляризатор 4 для понижения интенсивности излучения, чтобы детектор не начинал работать в режиме насыщения. Далее пучок проходит ещё через один поляризатор 5, после которого распространяется только горизонтальная составляющая линейной поляризации. Далее пучок делится на две компоненты делителем 6. Компонента, поляризованная вдоль направления ориентации проволок поляризатора, отражается и попадает на неподвижное уголковое зеркало 7, на котором испытывает последовательное отражение и меняется направление горизонтальной составляющей отражённой компоненты. Компонента, поляризованная перпендикулярно направлению ориентации проволок поляризатора, пропускается и проходит через мишень 1 и попадает на подвижное уголковое зеркало 8, на котором испытывает последовательные отражения и меняется направление горизонтальной составляющей прошедшей компоненты. в дальнейшем отражается делителем 6. На последнем этапе две компоненты встречаются и отражаются от параболического зеркала 9. Излучение попадает в поляризационно – чувствительный детектор 10 , где и наблюдается явление интерференции.

### 2.3 Соотношение для определения показателя преломления материала

$$L_1 - L_2 = \pm k\lambda, \quad (21)$$

где  $k$  – порядок интерференции,  $\lambda$  – длина волны.

$L_1 - L_2 = \Delta$  - оптическая разность хода

$$L_1 = 2S_0n_1, \quad (22)$$

где  $2S_0n_1$  - оптическая длина пути,  $S_0$  - расстояние от splitter до неподвижного зеркала,  $n_1$  - показатель преломления среды, в которой находится интерферометр.

$$L_2 = 2(S_1n_1 + d \cdot n_2 + S_2n_1), \quad (23)$$

где  $S_1$  - расстояние от splitter до мишени,  $d$  – толщина мишени,  $S_2$  - расстояние от мишени до подвижного зеркала,  $n_2$  - показатель преломления мишени.  $n_1 = 1$  - для воздуха.

$$S_0 > S_1 + d + S_2 \quad (24)$$

$$(S_0 - S_1 - S_2 - d + d) - d \cdot n_2 = 0 \quad (25)$$

$$\Delta r = S_0 - (S_1 + S_2 + d), \quad (26)$$

где  $\Delta r$  – фазовый сдвиг

$$n_2 = \frac{\Delta r}{d} + 1 \quad (27)$$

## 2.4 Методика определения показателя преломления

В первую очередь необходимо было измерить спектр излучателя, для чего было необходимо измерить полную интерферограмму без мишени, после чего применить алгоритм преобразования Фурье[5], что давало информацию о длине излучаемой волны и ширине линии излучения. Вторым этапом было измерение интерферограмм для трёх периодов без мишени и с мишенью, чтобы посчитать фазовый сдвиг. Все три этапа проиллюстрированы ниже.

На рисунках под номерами 4, 5 и 6 изображены фазовые сдвиги для соответствующих случаев. Были измерены фазовые сдвиги для оргстекла толщиной 4.2 мм, фторопластика толщиной 40 мм, полистерола толщиной 26 мм и SBS –пластика (стерен – бутодиен – стерен пластик) толщиной 40 мм, полученного с использованием 3D –принтера группой Стучеброва С.Г (научный сотрудник кафедры ПФ ТПУ).

Все 4 материала измерялись несколько раз и фазовые свдиги усреднялись, что дало среднюю величину показателя преломления. Средние величины показателя преломления и фазовых сдвигов приведены в таблице 1.

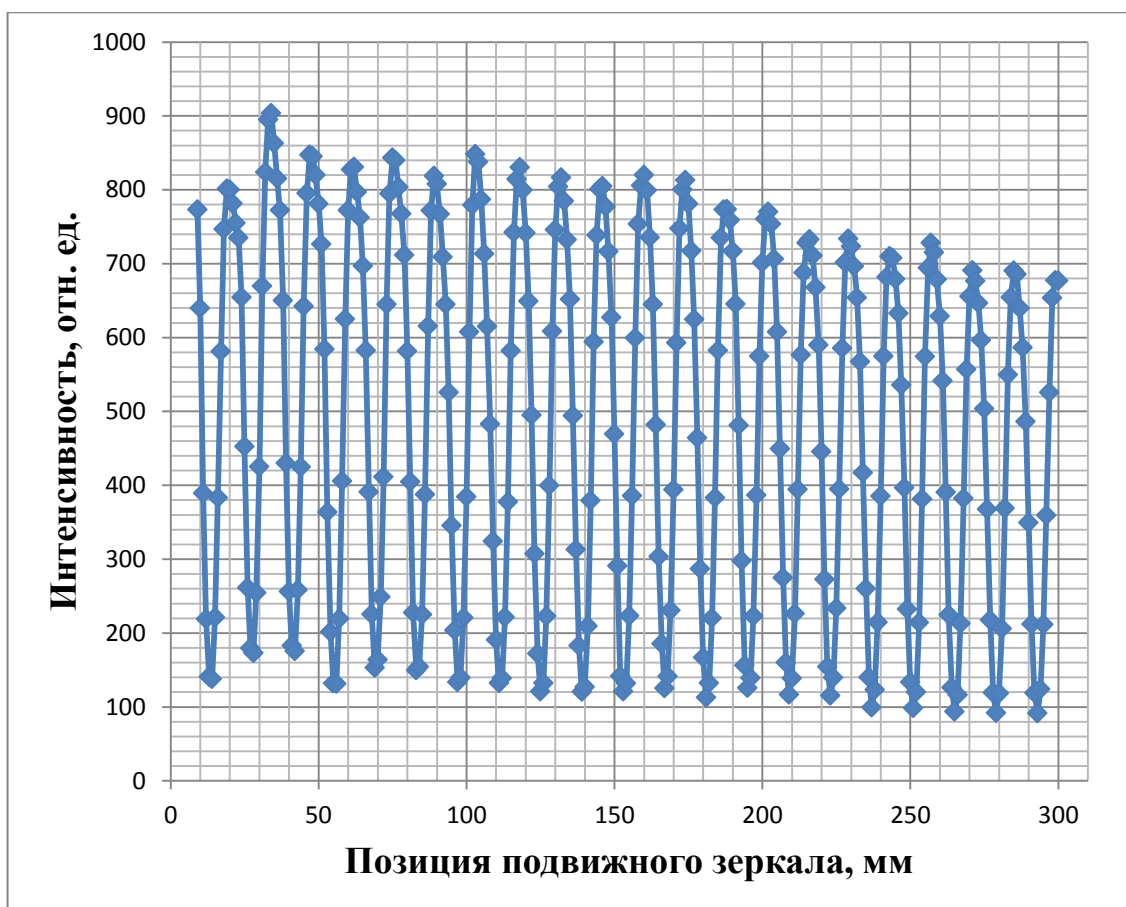


Рисунок 4- Интерферограмма для полного диапазона перемещения подвижного зеркала без мишени

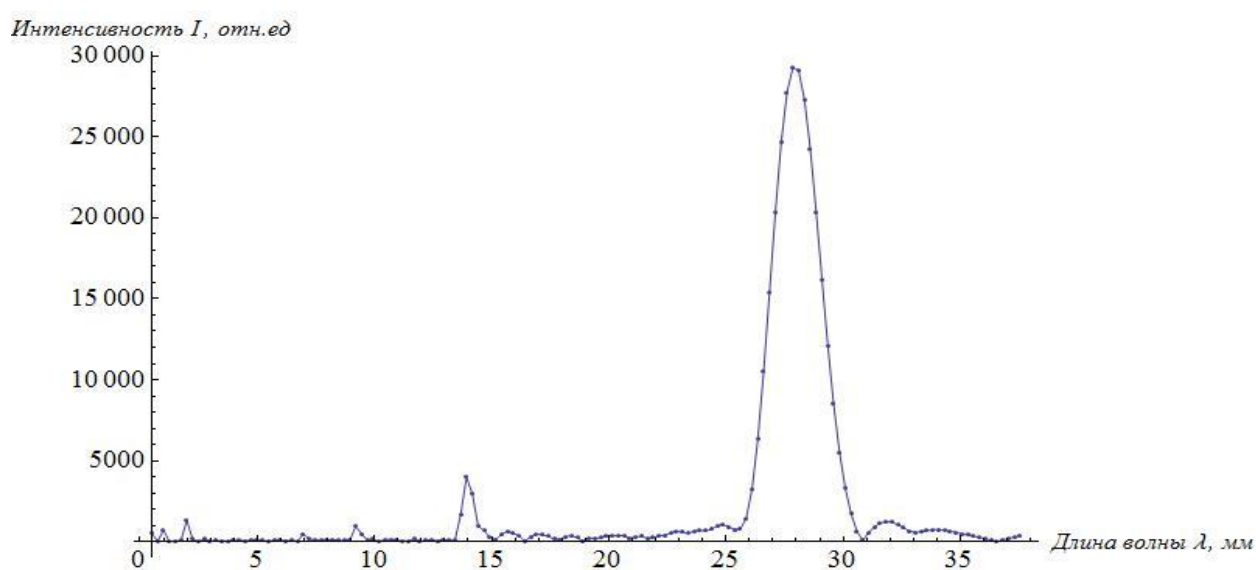


Рисунок 5- Спектр излучателя по длинам волн

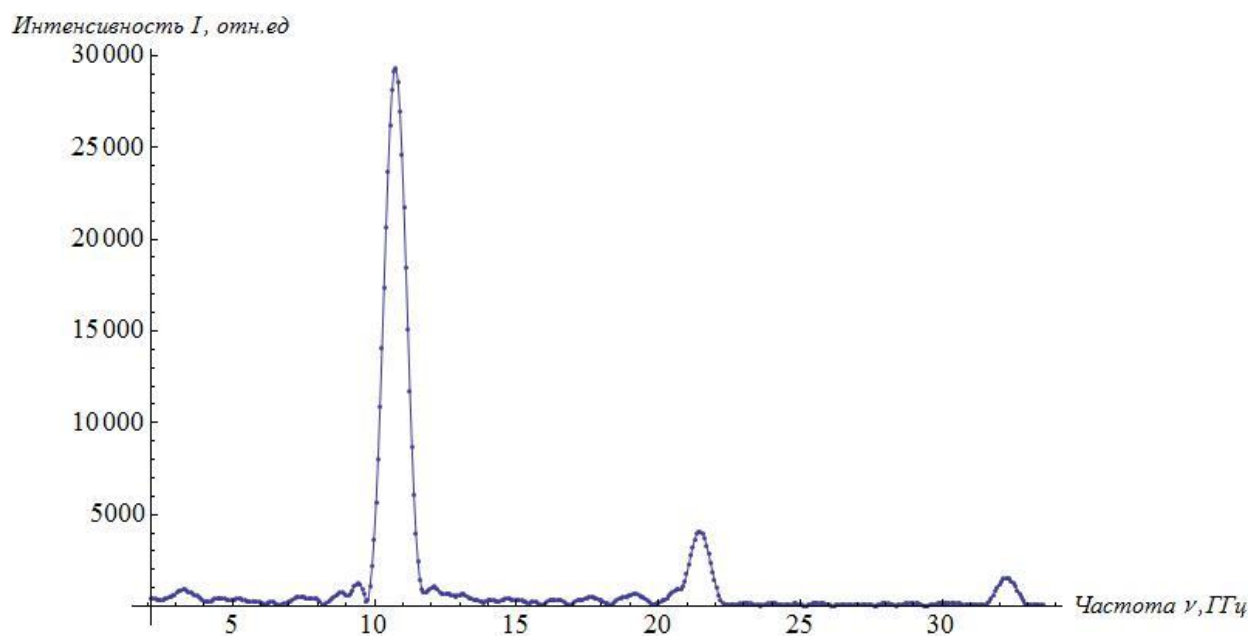


Рисунок 6 - Спектр излучателя по частотам.

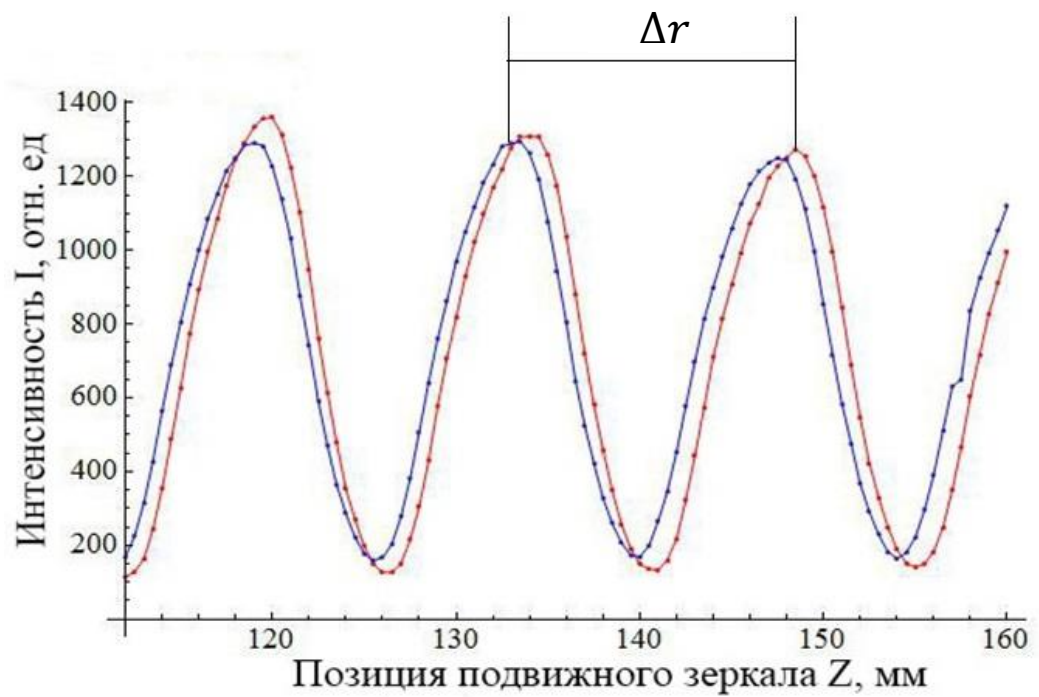


Рисунок 7 – Сравнение интерферограмм для трёх периодов без мишени (красная линия с точками) и мишенью из полистерола (синяя линия с точками)

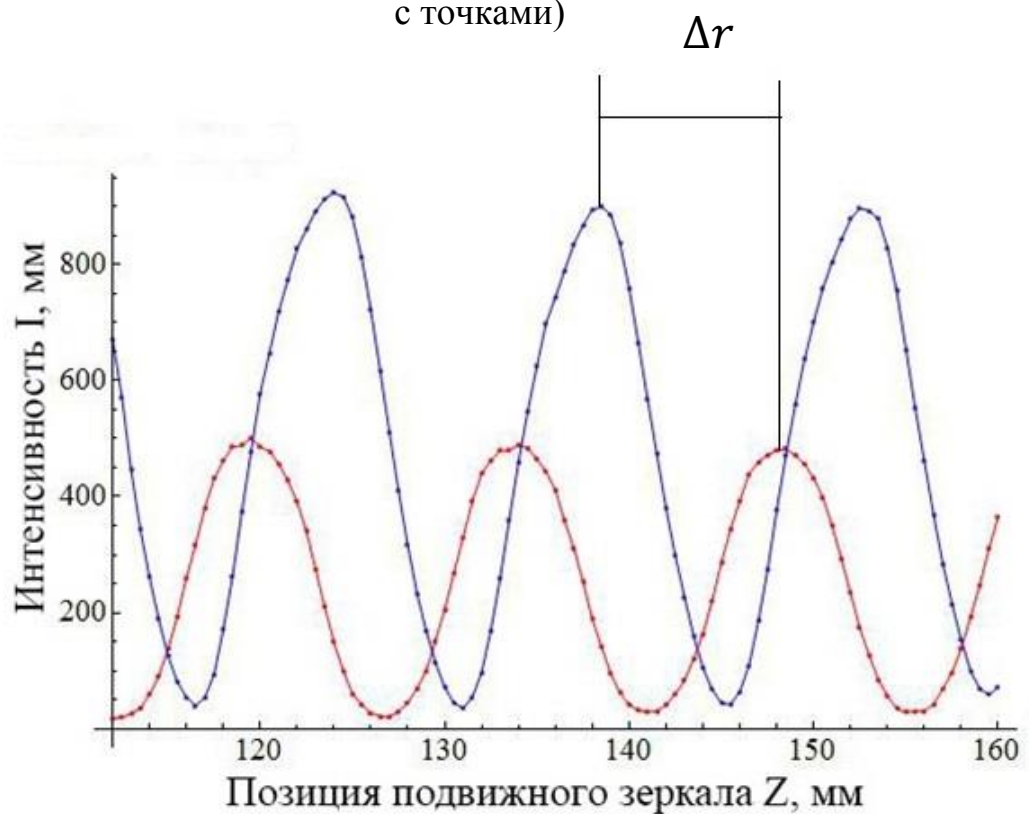


Рисунок 8 – Сравнение интерферограмм для трёх периодов без мишени (красная линия с точками) и мишенью из PLA пластика (синяя линия с точками)

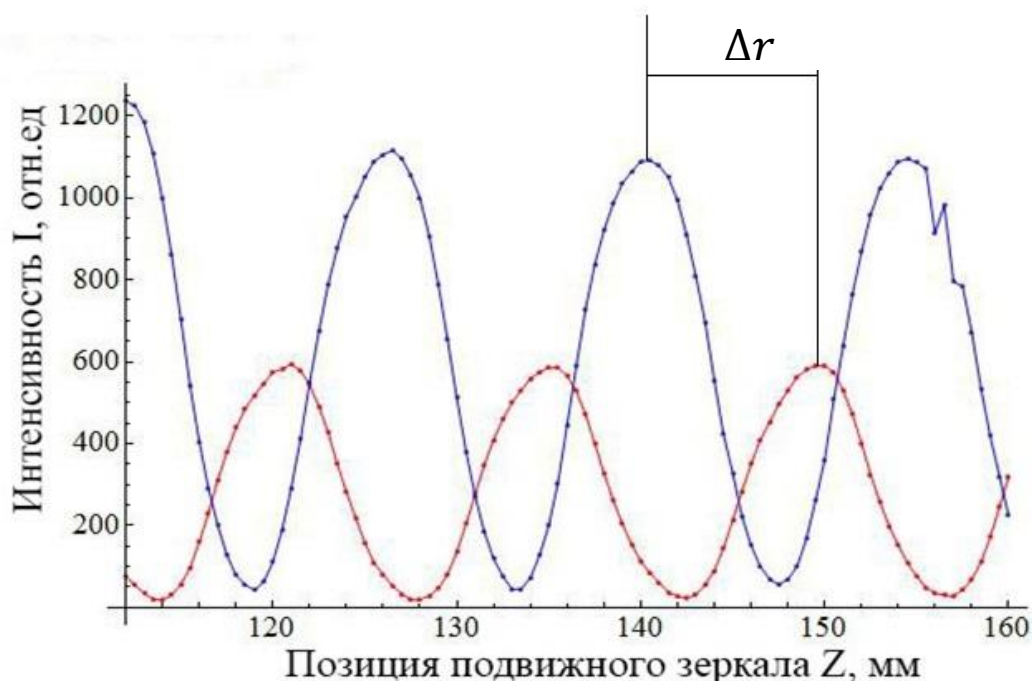


Рисунок 9 – Сравнение интерферограмм для трёх периодов без мишени (красная линия с точками) и мишенью из SBS пластика (синяя линия с точками)

## 2.5 Анализ и обработка измеренных интерферограмм

В первую очередь необходимо было получить величину погрешности прямых измерений, которая была обусловлена погрешностью позиционирования подвижного зеркала, статистической погрешностью, случайной ошибкой.

Брались данные по мишени, для которой производилось больше всего измерений, в данном случае для SBS – пластика. Позиция вершины второго пика на интерферограмме с мишенью представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения положения первого пика интерферограммы для трёх периодов без мишени

Номер измерения	х, мм.
1	123,07
2	123,3755
3	123,47



$$x_{\text{ср.}} = \frac{123,07 + 123,3755 + 123,47}{3} \text{ мм} = 123,3052 \text{ мм}$$

Расчёт среднеквадратичной погрешности дал следующее значение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{\text{ср}} - x_i)^2}{n * (n - 1)}} \quad (28)$$

$$S = \sqrt{\frac{(123,3052 - 123,07)^2 + (123,3052 - 123,3755)^2 + (123,3052 - 123,47)^2}{3 * 2}} \text{ мм.}$$

$$= 0,1207 \text{ мм}$$

Критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,95 и величине измерений, равном 3, равен 3,182. Величина S, умноженная на критерий Стьюдента даёт абсолютную ошибку при данной доверительной вероятности

$$\Delta x_{1 \text{ случ}} = 0,1207 * 3,182 \text{ мм} = 0,384 \text{ мм.}$$

Величина случайной ошибки составила 0,384 мм.

Таблица 2 – Результаты измерения положения первого пика интерферограммы для трёх периодов с мишенью из SBS –пластика толщиной 40 мм.

Номер измерения	х, мм.
1	133,9345
2	134,5355
3	134,14375
4	134,588

$$x_{\text{ср.}} = \frac{133,9345 + 134,5355 + 134,14375 + 134,588}{4} \text{ мм} = 134,3 \text{ мм}$$

Расчёт среднеквадратичной погрешности дал следующее значение:

$$S = \sqrt{\frac{(134,3 - 133,9345)^2 + (134,3 - 134,5355)^2 + (134,3 - 134,14375)^2 + (134,3 - 134,588)^2}{3 * 4}}$$

$$= 0,1571 \text{ мм.}$$

$$\Delta x_{2 \text{ случ}} = 0,1571 * 2,776 \text{ мм.} = 0,4363 \text{ мм}$$

Расчёт погрешности позиционирования рассчитывался следующим образом: в начале выделялся возрастающий участок измеренной интерферограммы одного периода с шагом в 50 мкм, после этого данный участок аппроксимировался квадратичной зависимостью в программе Wolfram Mathematica. Далее смотрелись отклонения экспериментальных точек от позиций данных точек на аппроксимированной квадратичной зависимости. Все вышеописанные шаги представлены ниже.

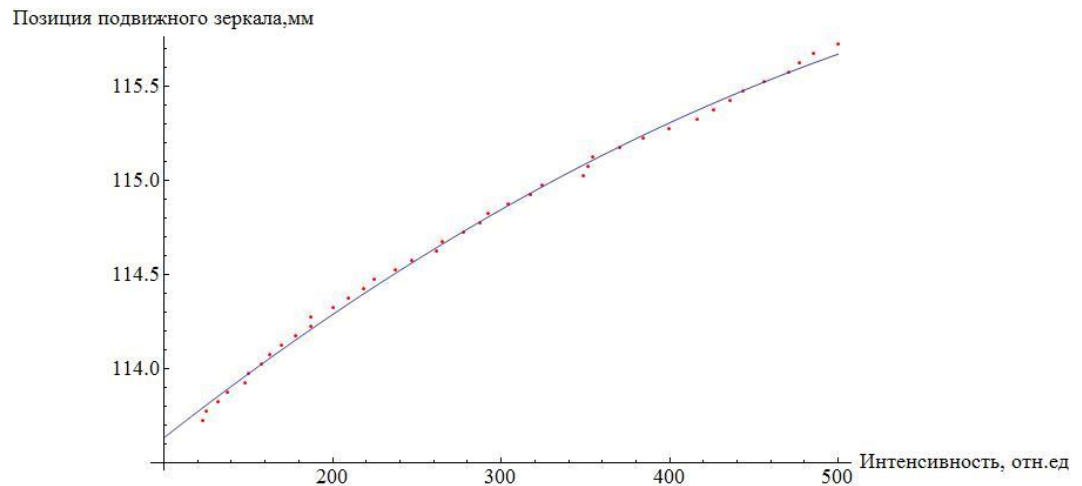


Рисунок 10 – Зависимость позиции зеркала от интенсивности.

Аппроксимация данных в пакете Wolfram Mathematica квадратичной зависимостью такая:

$$X = 112.882 + 0.00799899 * I - 4.82892 * 10^{-6} * I^2 \quad (29)$$

где,  $I$  – интенсивность,

$X$  – позиционирование подвижного зеркала.

Средняя величина модулей отклонения точек от кривой считается за ошибку позиционирования подвижного зеркала:

$$\Delta x_{\text{позиц.}} = 0.0237 \text{ мм.}$$

Расчёт косвенной погрешности проводился по формуле (19):

$$\Delta x_1 = \sqrt{\Delta x_{1\text{случ}}^2 + \Delta x_{\text{позиц}}^2} \quad (30)$$

$$\Delta x_2 = \sqrt{\Delta x_{2\text{случ}}^2 + \Delta x_{\text{позиц}}^2} \quad (31)$$

$$\Delta n_{2\text{расч}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{d}\right)^2} \quad (32)$$

$$\Delta x_1 = \sqrt{0,384^2 + 0,0237^2} = 0,385 \text{ мм.}$$

$$\Delta x_2 = \sqrt{0,4363^2 + 0,0237^2} = 0,437 \text{ мм.}$$

$$\Delta n_{2\text{расч}} = \sqrt{\left(\frac{0,385}{40}\right)^2 + \left(\frac{0,437}{40}\right)^2} = 0,01456$$

Ниже представлены результаты измерений.

Таблица 3 – Результаты экспериментального определения показателя преломления материала

Материал	$d$ , мм	$\Delta r_{\text{ср}}$ , мм	$n_{2\text{ расч}}$	$n_{2\text{ табл}}$
Фторопластик	40	17,98	$1,449 \pm 0,0165$	$1,433 \pm 0,007$ [3]
Полистерол	26	15,74	$1,605 \pm 0,0183$	$1,590 \pm 0,008$ [3]
SBS пластик	40	9,50	$1,219 \pm 0,007$	–
PLA пластик	40	8,77	$1,237 \pm 0,009$	–

### **3. Явление дифракции излучения**

Под дифракцией излучения понимается совокупность явлений, наблюдаемых при распространении электромагнитного волн (ЭМВ) в среде с резкими неоднородностями и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики. Дифракция, в частности приводит к проникновению излучения в область геометрической тени[1].

У интерференции и дифракции электромагнитного излучения имеется одна физическая природа, заключающаяся в перераспределении интенсивности накладывающихся друг на друга волн.

В данной работе реализуется дифракция Фраунгофера, поэтому будут затронуты только понятие зоны Френеля.

### 3.1 Дифракция Фраунгофера на щели

Проникновение световых волн в область геометрической тени может быть объяснено с помощью принципа Гюйгенса–Френеля, который гласит каждый элемент волновой поверхности служит источником вторичной сферической волны. Математическая запись принципа Гюйгенса – Френеля выглядит следующим образом:

$$E = \int_S K(\varphi) \frac{a_0}{r} \cos(\omega t - kr + a_0) dS, \text{ где} \quad (33)$$

$\omega t + \alpha_0$  – фаза колебания в месте расположения волновой поверхности  $S$ ;  $k$  – волновое число;  $r$  – расстояние от элемента поверхности  $dS$  до точки  $P$ ;  $a_0$  – амплитуда светового колебания в месте, где находится  $dS$ ;  $K$  – коэффициент, зависящий от угла  $\varphi$  между нормалью  $\mathbf{n}$  к площадке  $dS$  и направлением от  $dS$  к точке  $P$ . При  $\varphi=0$  этот коэффициент максимален, а при  $\varphi=\pi/2$  он обращается в нуль.

Для понимания дифракции Фраунгофера на дифракционной решётке необходимо рассмотреть дифракцию на щели.

Пусть на бесконечно длинную щель падает плоская волна. Необходимо поместить за щелью собирающую линзу либо расположить экран далеко от щели. Дифракционную картину можно наблюдать в любой плоскости, перпендикулярной к щели.

Открытая часть волновой поверхности разбивается на параллельные краям щели элементарные зоны ширины  $dx$ . Вторичные волны, посылаемые зонами в направлении, определяемом углом  $\varphi$ , соберутся в точке экрана  $P$ . Каждая элементарная зона создаст в точке экрана  $P$  колебание  $dE$  [2].

$$A_\varphi = \left| A_0 \frac{\sin(\pi b \sin \varphi / \lambda)}{\pi b \sin \varphi / \lambda} \right|, \quad (34)$$

где  $b$  – ширина щели.

$$I_\varphi = I_0 \frac{\sin^2(\pi b \sin \varphi / \lambda)}{(\pi b \sin \varphi / \lambda)^2}, \quad (35)$$

где  $I_0$  – интенсивность в середине дифракционной картины (против центра линзы);  $I_\varphi$  – положение в точке, положение которой определяется данным значением  $\varphi$ .

Условие, определяющее положение минимумов интенсивности на дифракционной картине:

$$b \sin \varphi = \pm k\lambda, \text{ где} \quad (36)$$

$b$  – ширина щели;  $k$  – волновой вектор.

### 3.2 Дифракция Фраунгофера периодической решётке

Дифракционной решёткой называется совокупность большого числа одинаковых, отстоящих друг от друга на одно и то же расстояние щелей. Расстояние  $d$  между серединами либо началами (концами) соседних щелей называется периодом решётки[2].

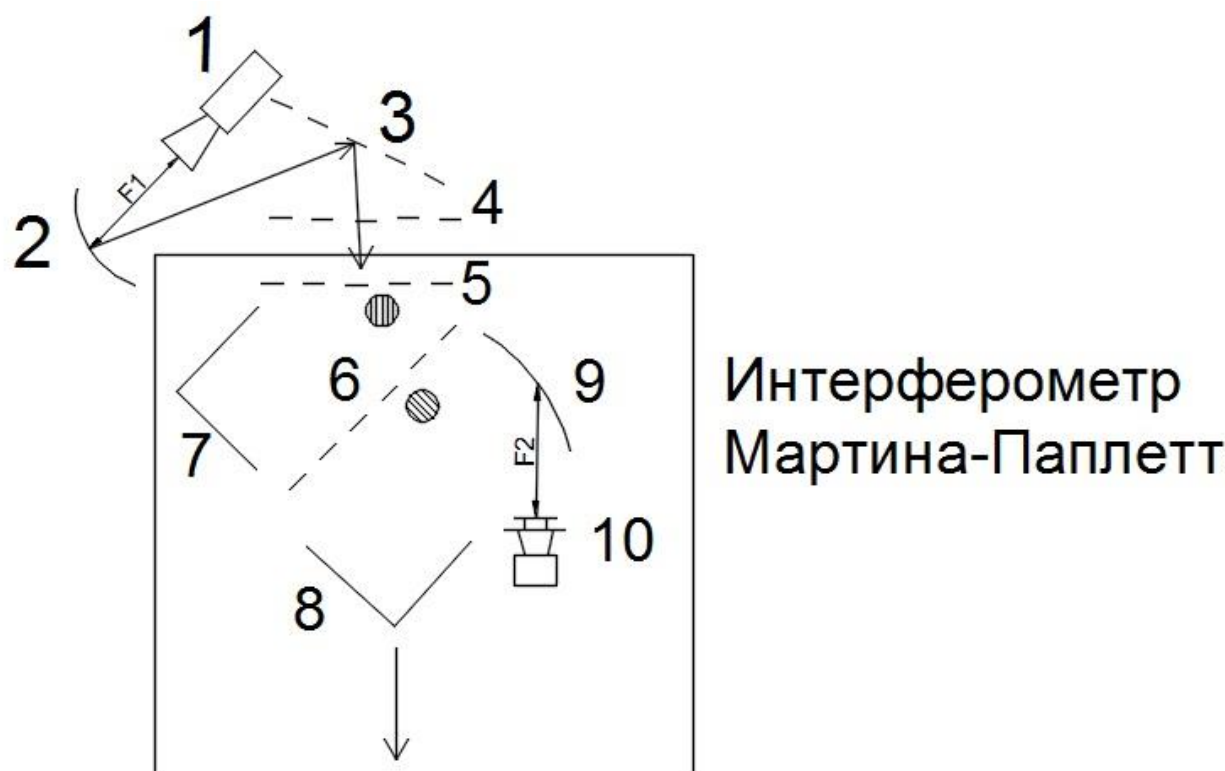
$$I_{\text{реш}} = I_{\varphi} \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} \quad (37)$$

$$I_{\text{реш}} = I_0 \frac{\sin^2(\sin(\pi b \sin \varphi / \lambda))}{(\sin(\pi b \sin \varphi / \lambda))^2} * \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} \quad (38)$$

$$d \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (39)$$

где  $m$  – порядок дифракции.

Имеются также побочные максимумы и минимумы.



Интерферометр  
Мартина-Паппетт

Рисунок 11 – Схема геометрии наблюдения дифракции

Излучение миллиметрового диапазона, генерируемое источником 1, который стоит в фокусе параболического зеркала 2, попадает на параболическое зеркало 2, излучение отражается и в дальнейшем формируется квазипараллельный пучок, то есть пучок имеет малую расходимость. Квазипараллельный пучок дифрагирует на периодической мишени 3. Дифрагированное излучение пропускается через поляризатор 4 с целью понижения интенсивности. Потом излучение пропускается через поляризатор 5, и в дальнейшем распространяется только горизонтальная составляющая линейной поляризации. Далее пучок делится на две компоненты делителем 6. Компонента, поляризованная вдоль направления ориентации проволок поляризатора, отражается и попадает на неподвижное уголковое зеркало 7, на котором испытывает последовательное отражение и меняется направление горизонтальной составляющей отражённой компоненты. Компонента, поляризованная перпендикулярно направлению ориентации проволок поляризатора, пропускается и попадает на подвижное уголковое зеркало 8, на котором испытывает последовательные отражения и меняется направление горизонтальной составляющей прошедшей компоненты. В дальнейшем отражается делителем 6. На последнем этапе две компоненты встречаются и отражаются от параболического зеркала 9 и излучение попадает в поляризационно-чувствительный детектор 10, где и наблюдается явление интерференции.





### 3.3 Дисперсионное соотношение

$$L_1 - L_2 = \pm k \cdot \lambda, \text{ где} \quad (40)$$

$L_1, L_2$  — оптические длины путей,  $k$  — целое число,  $\lambda$  — длина волны.

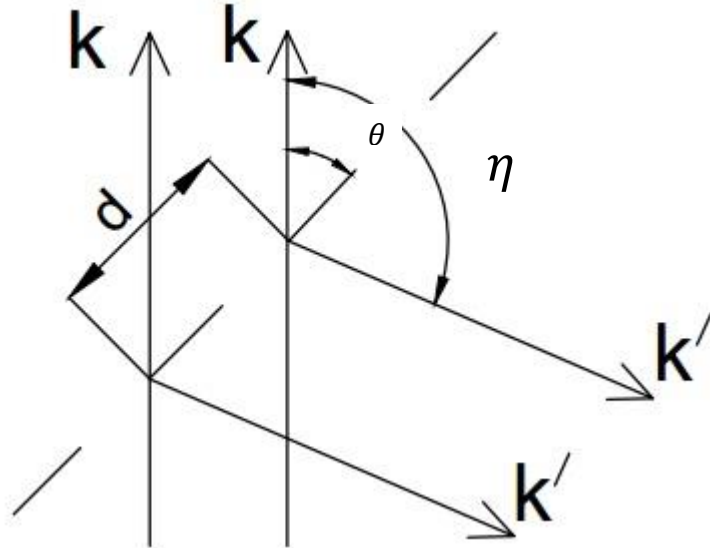


Рисунок 12 – Дифракция ЭМВ на отражательной решётке

$$\Delta = L_1 - L_2 \quad (41)$$

$$L_1 = d \cdot \cos \theta, \text{ где} \quad (42)$$

$\theta$  — угол между плоскостью дифракционной решётки и падающим излучением,  $d$  — период дифракционной решётки.

$$L_2 = d \cdot \cos(\eta - \theta), \text{ где} \quad (43)$$

$\eta$  — угол между волновыми векторами падающего излучения и дифрагированного излучения.

$$d \cdot (\cos \theta - \cos(\eta - \theta)) = \pm k \cdot \lambda \quad (44)$$

$$\cos \theta - \cos(\theta - \eta) = \pm \frac{k \cdot \lambda}{d} \quad (45)$$

### 3.4 Определение степени монохроматизации излучения периодической решёткой

Первым этапом эксперимента являлось измерение углового распределения излучения, генерируемого источником. Для решения данной задачи измерялась ориентационная зависимость интенсивности от угла поворота медного экрана без параболического зеркала и с параболическим зеркалом. Геометрия измерения без зеркала представлена на Рисунке 4.

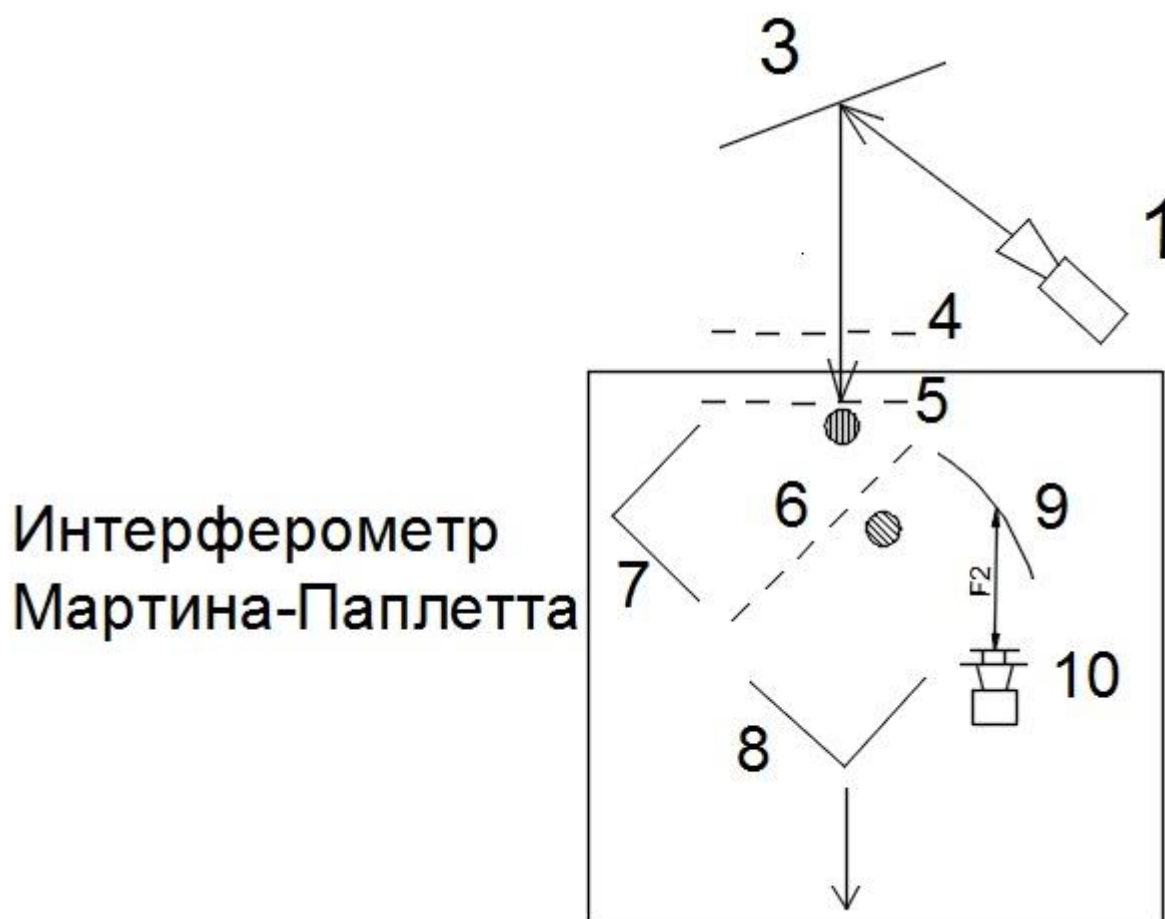


Рисунок 13 – Схема геометрии с медным экраном (без параболического зеркала)

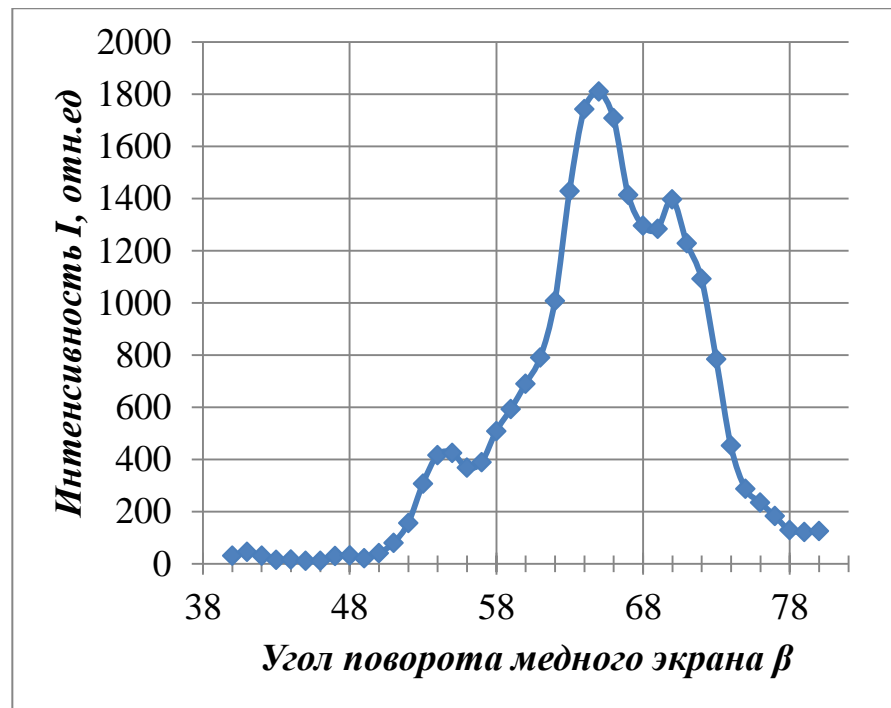


Рисунок 14 – Ориентационная зависимость излучения от угла поворота мишени (без параболического зеркала)

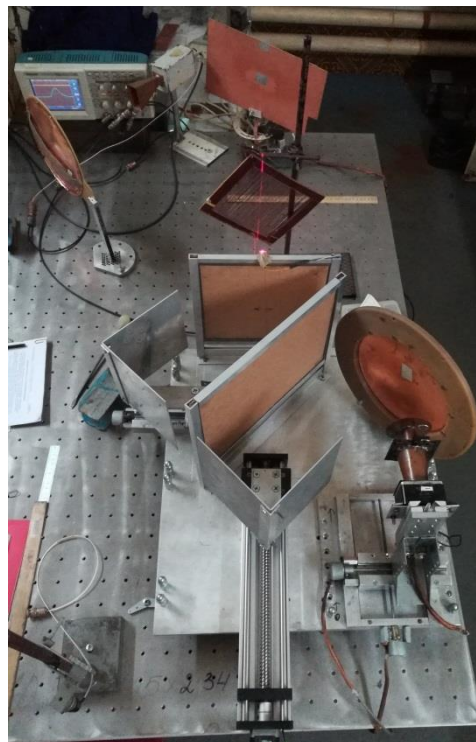
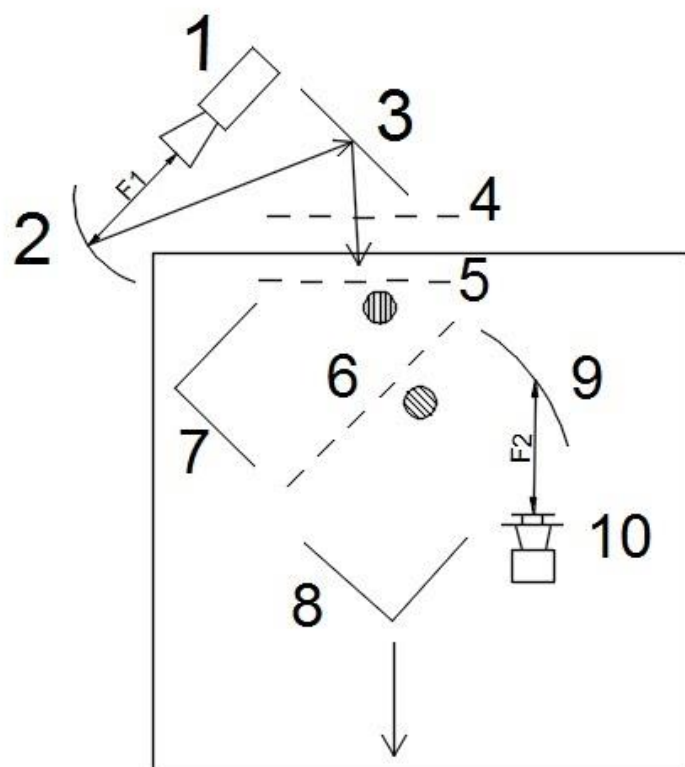


Рисунок 15 – Иллюстрация геометрии с медным экраном



Интерферометр  
Мартина-Папплетта

Рисунок 16 – Схема геометрии с медным экраном (с параболическим зеркалом)

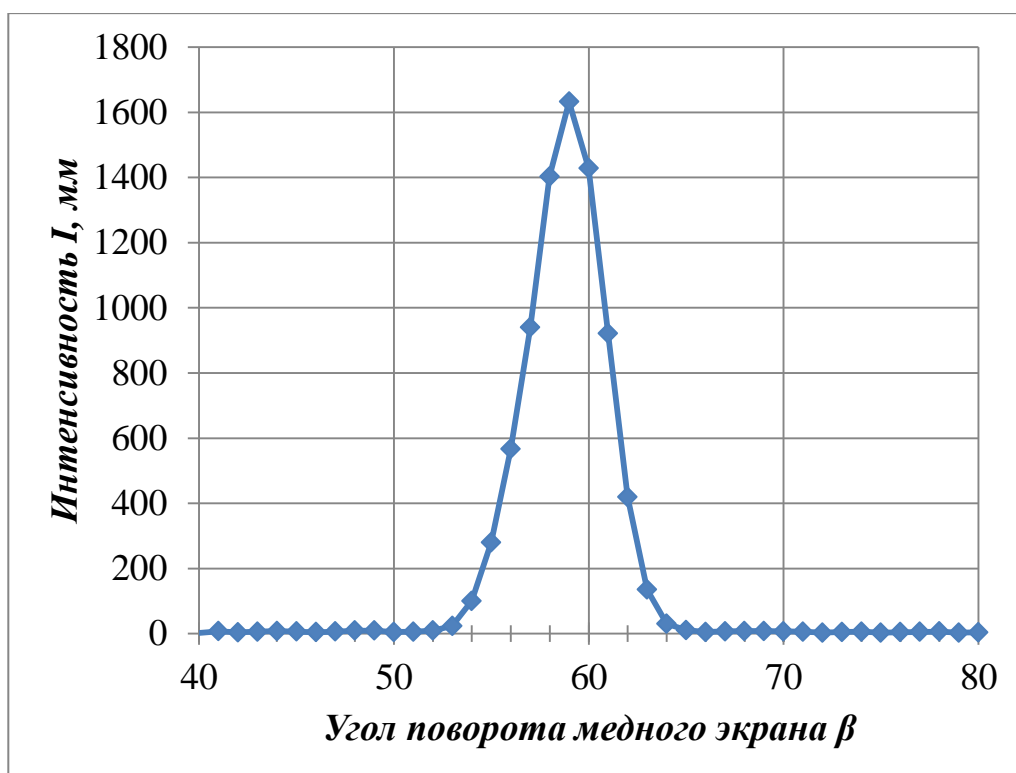


Рисунок 17 – Ориентационная зависимость излучения от угла поворота мишени (с параболическим зеркалом)

В максимум излучения ставился медный экран и измерялась интерферограмма излучения. Далее, используя записанные данные и преобразование Фурье, производилась реконструкция спектра.

Измерение интерферограммы проводилось при помощи программы, написанной на объектно–ориентированном языке C++ Builder. Также в данной программе реализована обработка экспериментальных данных методами непараметрической статистики, реконструкция спектра с использованием преобразования Фурье, а также апподизация.

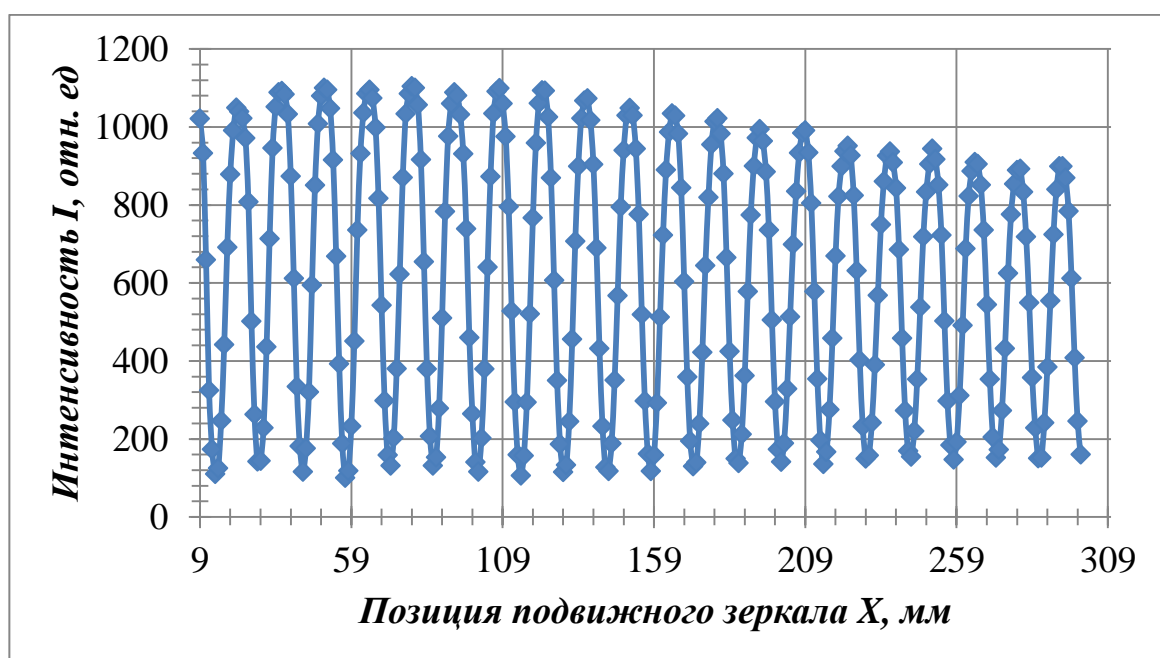


Рисунок 18 – Интерферограмма полихроматического излучения

Интерферограмма измерялась при помощи интерферометра Мартина–Паплетта, ошибка позиционирования подвижного зеркала которого составляет 25 мкм.

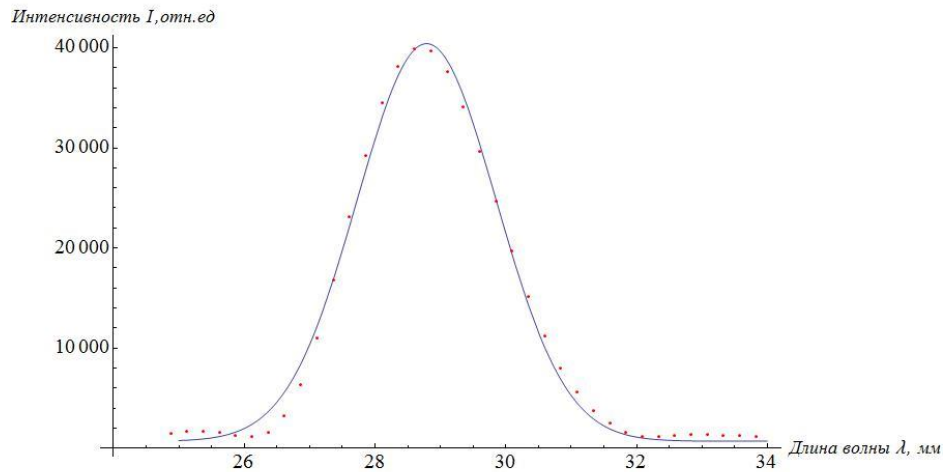


Рисунок – 19 Аппроксимированная кривая (без использования дифракционной решётки)

Дифракционная решётка поворачивалась аналогично медному экрану, но позиция дифракционных пиков, отстоящих симметрично относительно пика зеркального отражения, описывались в соответствии с дисперсионным соотношением (6). Положение максимума пика, приведённого на рисунке 9, приходится на длину волны  $\lambda = 28.78$  мм. Среднеквадратичная погрешность аппроксимации равна 0.016 мм. Величина  $\sigma = 1.063$  мм. Ширина линии на полувысоте составила:

$$FWHM = 2.355 * 1.063 \text{ мм} = 2.5 \text{ мм}$$

Ошибка данной величины:

$$\Delta FWHM = 2.355 * 0.022 \text{ мм} = 0.052 \text{ мм}$$

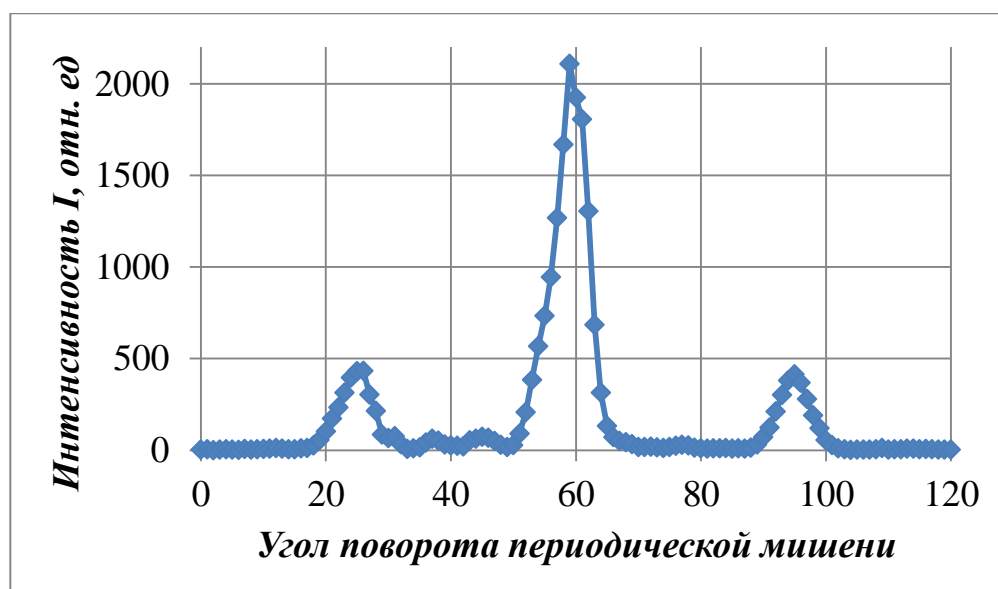


Рисунок 20 – Зависимость интенсивности излучения от угла поворота дифракционной решётки

В углы, соответствующие максимум дифракционных пиков, для которых  $\lambda=28.78$  мм,  $d=14.13$  мм,  $k=1$ , выставлялась дифракционная решётка и измерялись интерферограммы. Процесс реконструкции спектра был описан выше. При данных параметрах излучения, дифракционной решётки в выставленных углах решётка выступала в роли монохроматора. Под вышеуказанными углами в интерферометре Мартина–Паплетта регистрировалось только излучение с длиной волны  $\lambda=28.78$  мм.

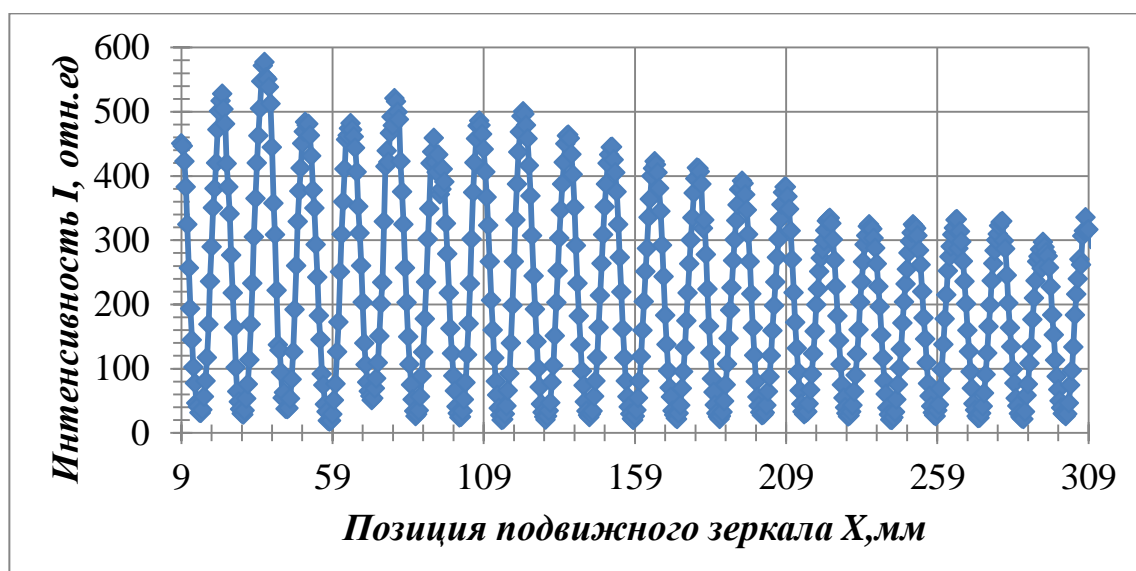


Рисунок 21 – Интерферограмма излучения для угла поворота дифракционной решётки  $94.57^{\circ}$

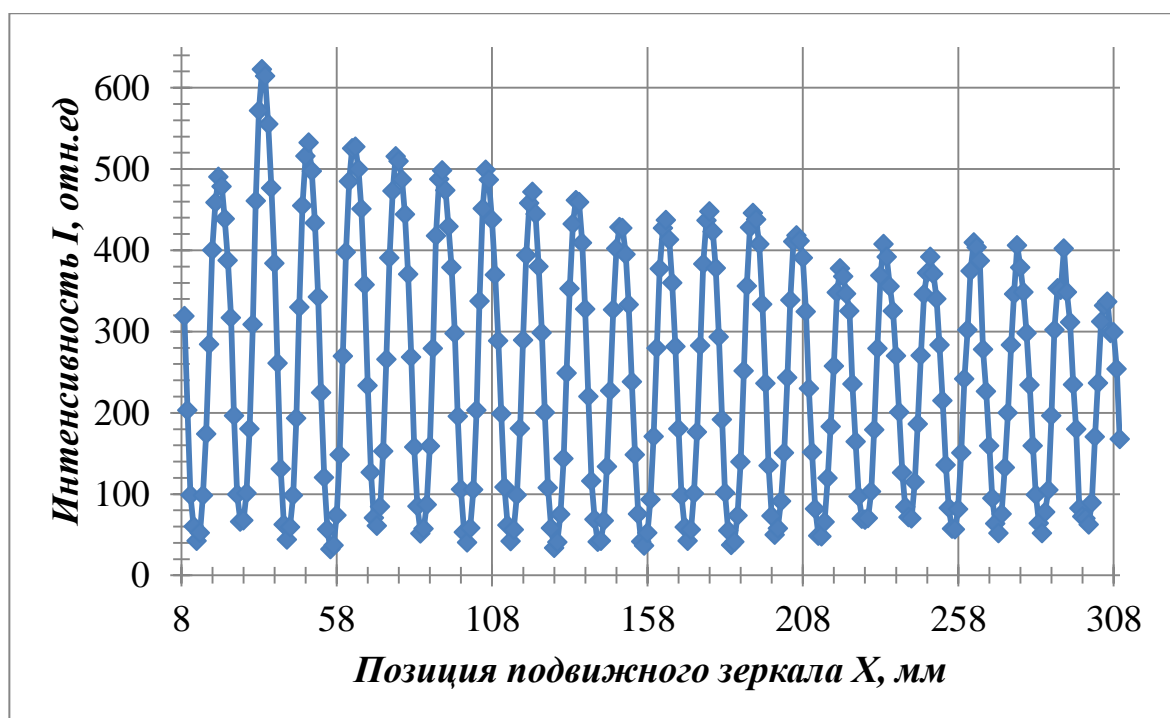


Рисунок 22 – Интерферограмма излучения для угла поворота дифракционной решётки  $24.786^0$

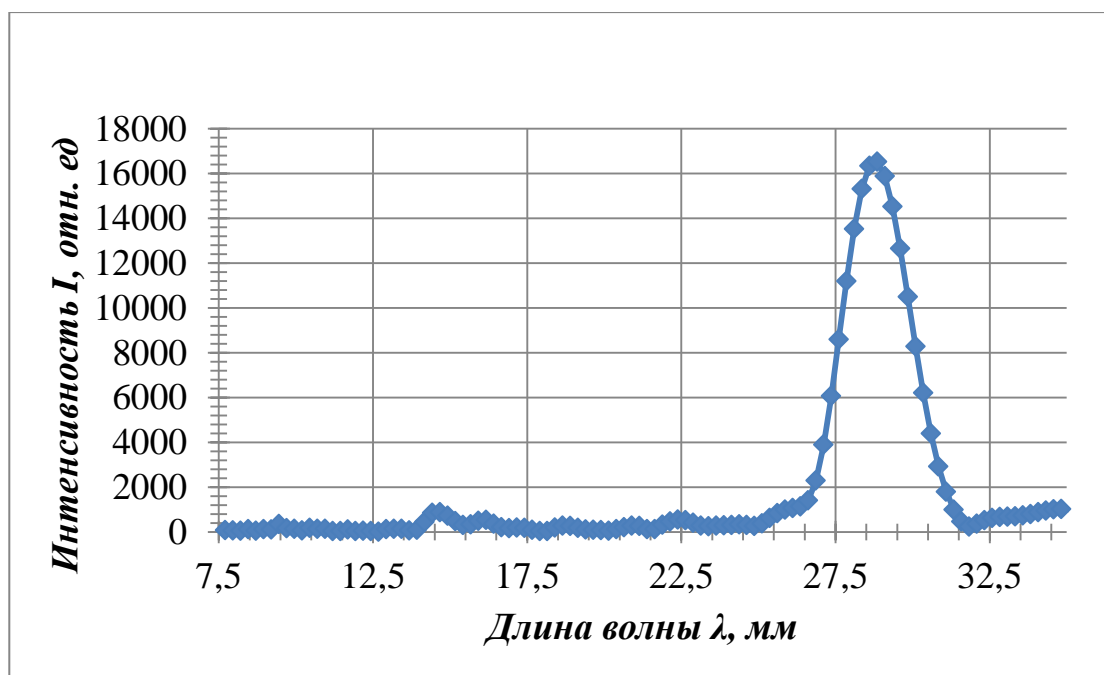


Рисунок 23 – Реконструированный из интерферограмм монохроматический спектр излучения

Максимум интенсивности пика приходится на длину волны  $\lambda = 28.7$  мм, а среднеквадратичная погрешность определения данной величины при аппроксимации равна 0.02 мм. Среднеквадратичное отклонение пика равна  $\sigma = 1.0013$  мм.



$$FWHM = 2.355 * 1.0013 \text{ мм} = 2.36 \text{ мм}$$

$$\Delta FWHM = 2.355 * 0.028 \text{ мм} = 0.065 \text{ мм}$$

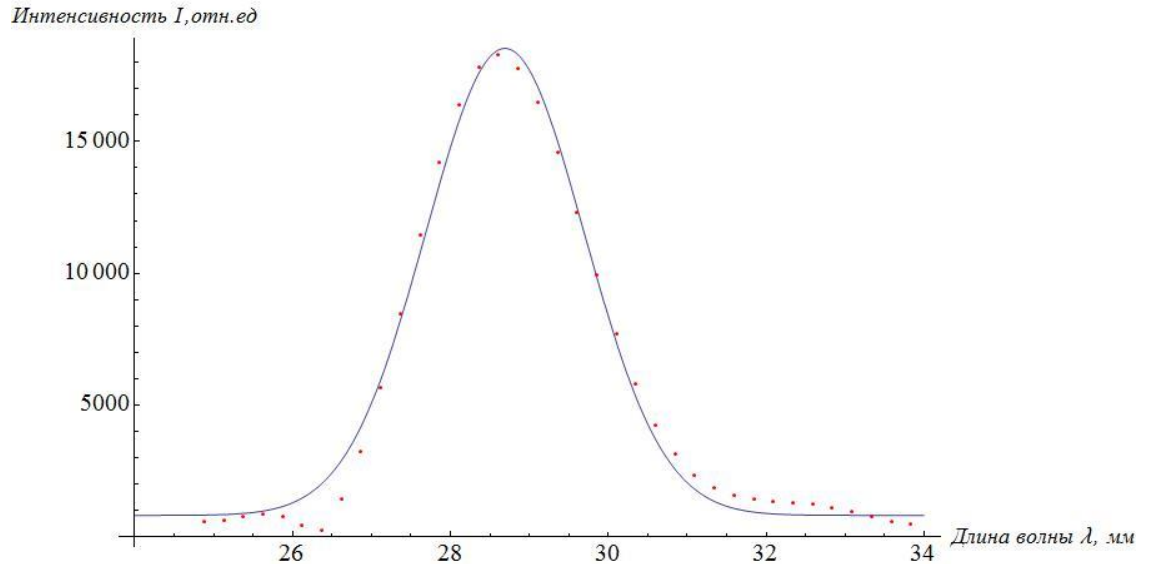


Рисунок 24 – Аппроксимированная кривая излучения от дифракционной решётки

Далее устанавливался запердельный волновод (ЗВ) с диаметром 10 мм, который не пропускает излучение, чья длина волны больше 17 мм. ЗВ выступает в роли фильтра. Данный ЗВ совместно с дифракционной решёткой позволяет получить монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 10$  мм.

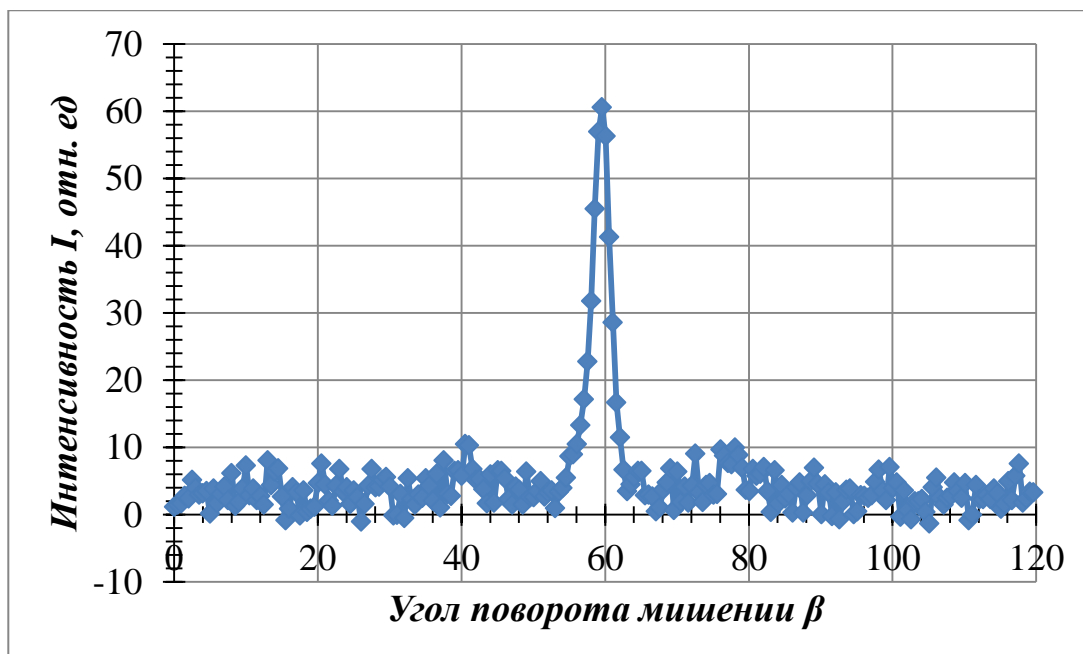


Рисунок 25 – Ориентационная зависимость интенсивности излучения от угла поворота периодической мишени

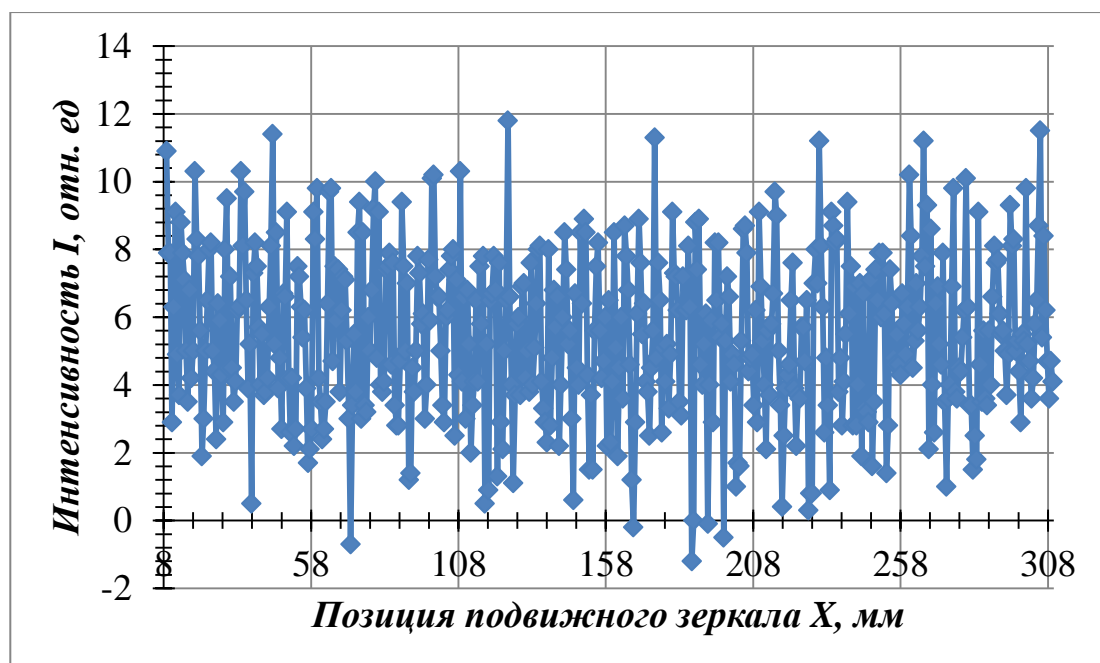


Рисунок 26 – Интерферограмма излучения для решётки с периодом 18 мм в  $77.6^\circ$  с ЗВ 10 мм.

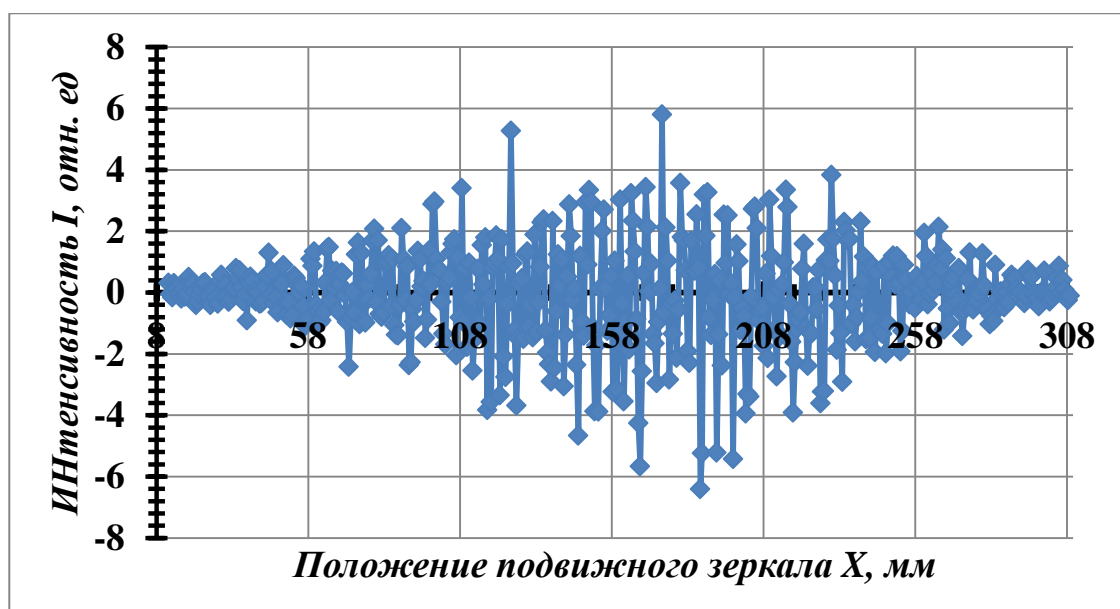


Рисунок 27 – Апподизированная интерферограмма излучения для решётки с периодом 18 мм в  $77.6^\circ$  с ЗВ 10 мм.

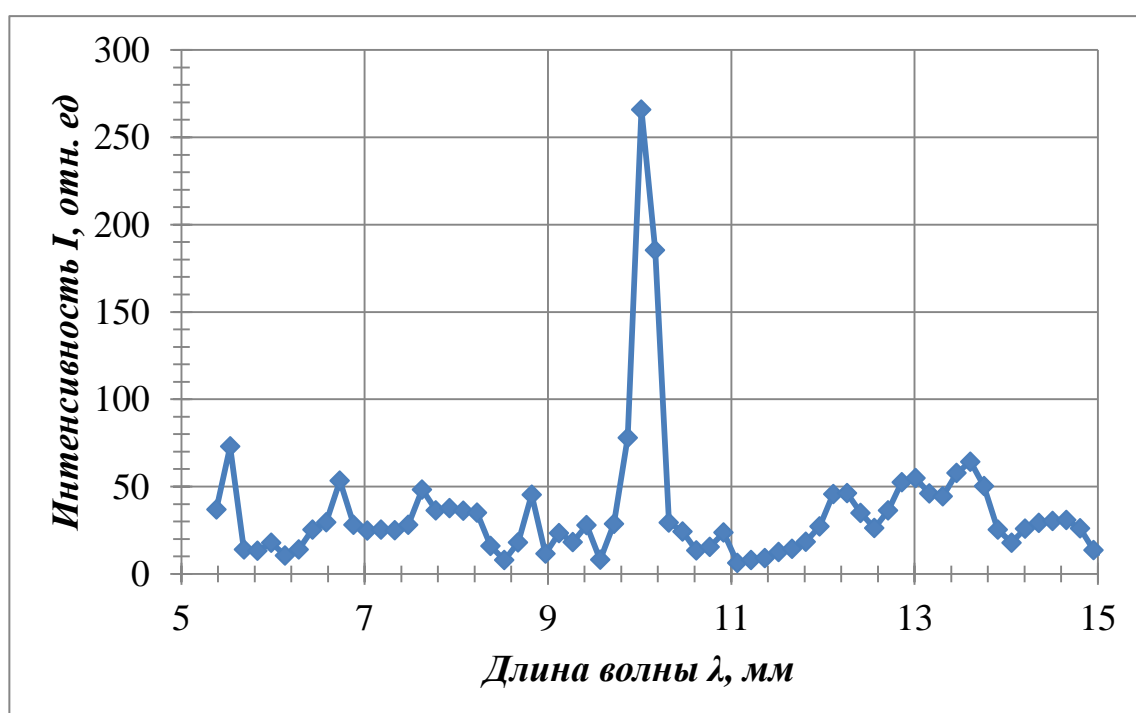


Рисунок 28 – Реконструированный из интерферограммы монохроматический спектр излучения для решётки с периодом 18 мм, стоящей в  $77.6^\circ$

#### 4. Явление спектральной дисперсии излучения

Спектральной дисперсией излучения называется зависимость фазовой скорости электромагнитных волн в прозрачной для данного диапазона длин волн(частот) среде от длины волны (частоты) излучения[1]. Рассматривая соотношение для определения показателя преломления среды, которая представлена ниже, можно сказать, что дисперсия излучения – это зависимость показателя преломления среды или материала от длины волны излучения.

$$v = \frac{c}{n} \quad (46)$$

$$n = \frac{c}{v} \quad (47)$$

$$v = f(\lambda) \quad (48)$$

$$n = f(\lambda) \quad (49)$$

Спектральной дисперсией материала (среды), в свою очередь, называется производная показателя преломления материала (среды)  $n$  по  $\lambda$ .

Существует два типа спектральной дисперсии: нормальная и аномальная.

Для нормальной спектральной дисперсии материала выполняется следующие условия:

$$\frac{dn}{d\lambda} < 0 \quad (50)$$

Второе условие – рост по модулю с уменьшением  $\lambda$ .

Если материал, через который распространяется излучение поглощает, то возникает аномальная спектральная дисперсия:

$$\frac{dn}{d\lambda} > 0 \quad (51)$$

#### 4.1 Ход лучей в тефлоновой призме

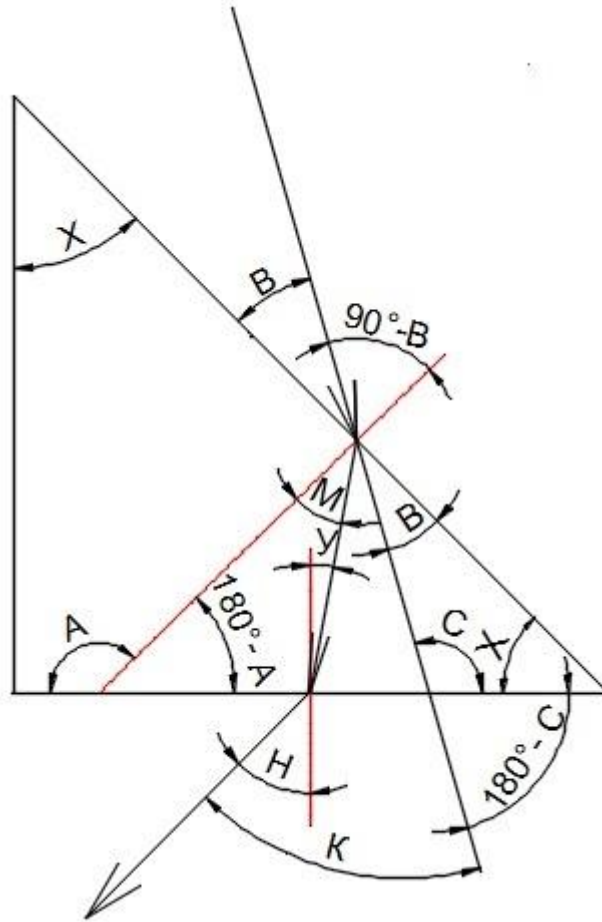


Рисунок 29 – Иллюстрация хода лучей в тефлоновой призме

$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 \cdot \sin(90^\circ - B) = n_2 \cdot \sin(M) \\ n_2 \cdot \sin(Y) = n_1 \cdot \sin(H) \\ X + 90^\circ + 90^\circ + A = 360^\circ \\ 180^\circ - A + 90^\circ + Y + M = 180^\circ \\ B + C + X = 180^\circ \\ K + (180^\circ - C) - 90^\circ = H \end{array} \right. \quad (52)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n_1 = 1 \\ A = 180^\circ - X \\ X + 90^\circ + Y + M = 180^\circ \\ C = 180^\circ - X - B \\ H = K + (180^\circ - 180^\circ + X + B) - 90^\circ \end{array} \right. \quad (53)$$

$$\begin{cases} \cos(B) = n_2 \cdot \sin(M) \\ n_2 \cdot \sin(Y) = \sin(H) \\ Y + M + X = 90^\circ \\ H = K + X + B - 90^\circ \end{cases} \quad (54)$$

$$M = 90^\circ - (X + Y) \quad (55)$$

$$\begin{cases} \cos(B) = n_2 \cdot \sin(90^\circ - (X + Y)) \\ n_2 \cdot \sin(Y) = \sin(H) \end{cases} \quad (56)$$

$$\begin{cases} \cos(B) = n_2 \cdot \cos(X + Y) \\ n_2 \cdot \sin(Y) = \sin(H) \end{cases} \quad (57)$$

$$\sin(Y) = \frac{\sin(H)}{n_2} \quad (58)$$

$$\cos(Y) = \sqrt{1 - \sin(Y)^2} \quad (59)$$

$$\cos(B) = n_2 \cdot (\cos(X) \cdot \cos(Y) - \sin(X) \cdot \sin(Y)) \quad (60)$$

$$\cos(B) = n_2 \cdot \left( \cos(X) \sqrt{1 - \left( \frac{\sin(H)}{n_2} \right)^2} - \sin(X) \cdot \frac{\sin(H)}{n_2} \right) \quad (61)$$

$$n_2 = \sqrt{\left( \frac{\cos(B) + \sin(X) \cdot \sin(H)}{\cos(X)} \right)^2 + \sin(H)^2} \quad (62)$$

#### 4.2 Измерение спектральной дисперсии тефлоновой призмы

Для измерения спектральной дисперсии тефлоновой призмы использовалась установка под названием “карусель”. “Карусель” представляет из себя балку, на которой зафиксировано параболическое зеркало и в фокусе данного параболического зеркала находится детектор излучения миллиметрового диапазона. Тефлоновая призма помещалась на вращающуюся плоскость, ось вращения которой проходила через противоположный детектору конец балки “карусели”. Внешний вид карусели представлен на рисунке .



Рисунок 30 – Фотография геометрии измерения спектральной дисперсии тефлоновой призмы: 1–излучатель миллиметрового диапазона длин волн; 2–параболическое зеркало  $F=250$  мм; 3–тефлоновая призма; 4–параболическое зеркало  $F = 145$  мм; 5–детектор излучения миллиметрового диапазона длин волн.

В первую очередь в системе отсчёта, связанной с “каруселью”, определялся угол падения первоначального пучка, не испытывавшего преломления в тефлоновой призме. Далее вращалась плоскость, на которой располагалась тефлоновая призма. Данное действие перекрывало первоначальный пучок, испытывавший в дальнейшем преломление внутри призмы. Ход лучей внутри призмы представлен на рисунке. Ниже представлены результаты измерений для различных углов поворота плоскости. Угол поворота плоскости обозначен как угол  $\beta$ .

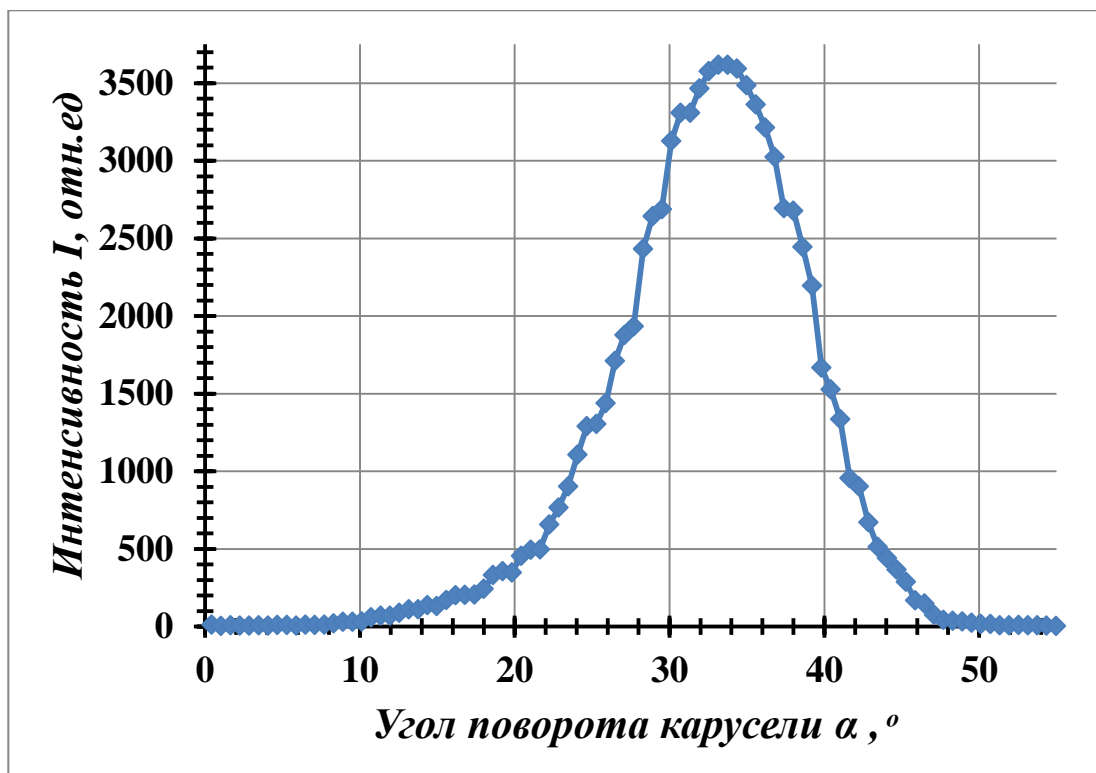


Рисунок 31 – Измерение угла падения первичного пучка, не испытывшего преломление, для  $\lambda = 28,5$  мм

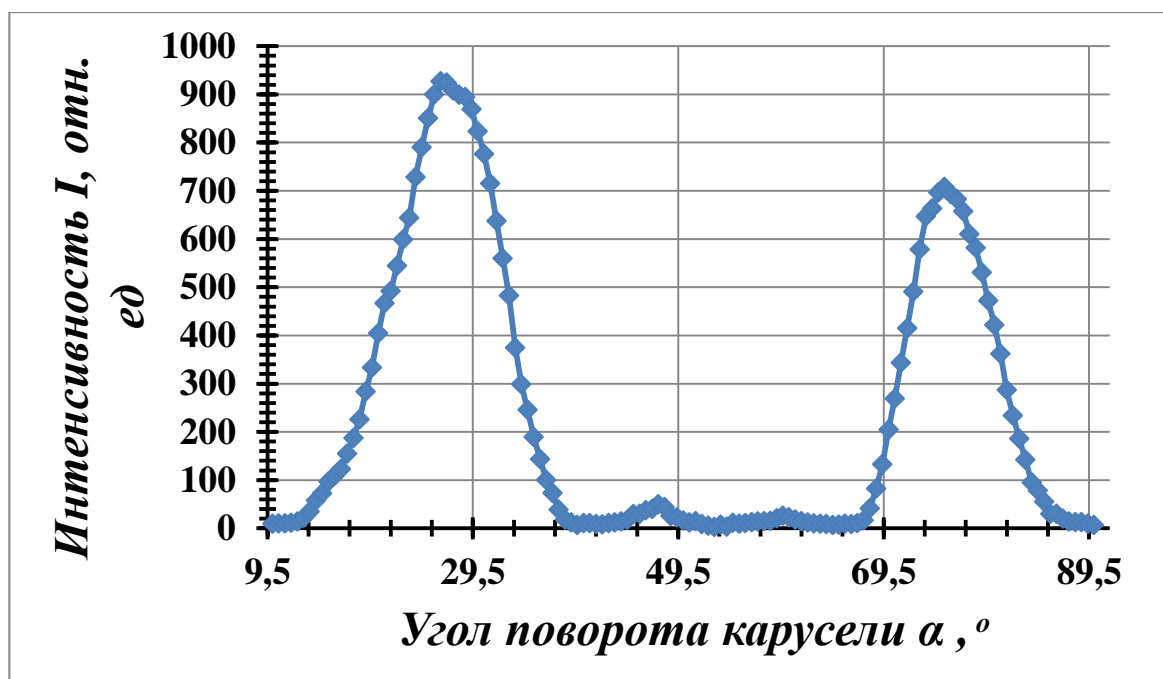


Рисунок 32 – Измерение угла преломлённого луча при  $V=10^\circ$   
для  $\lambda = 28,5$  мм



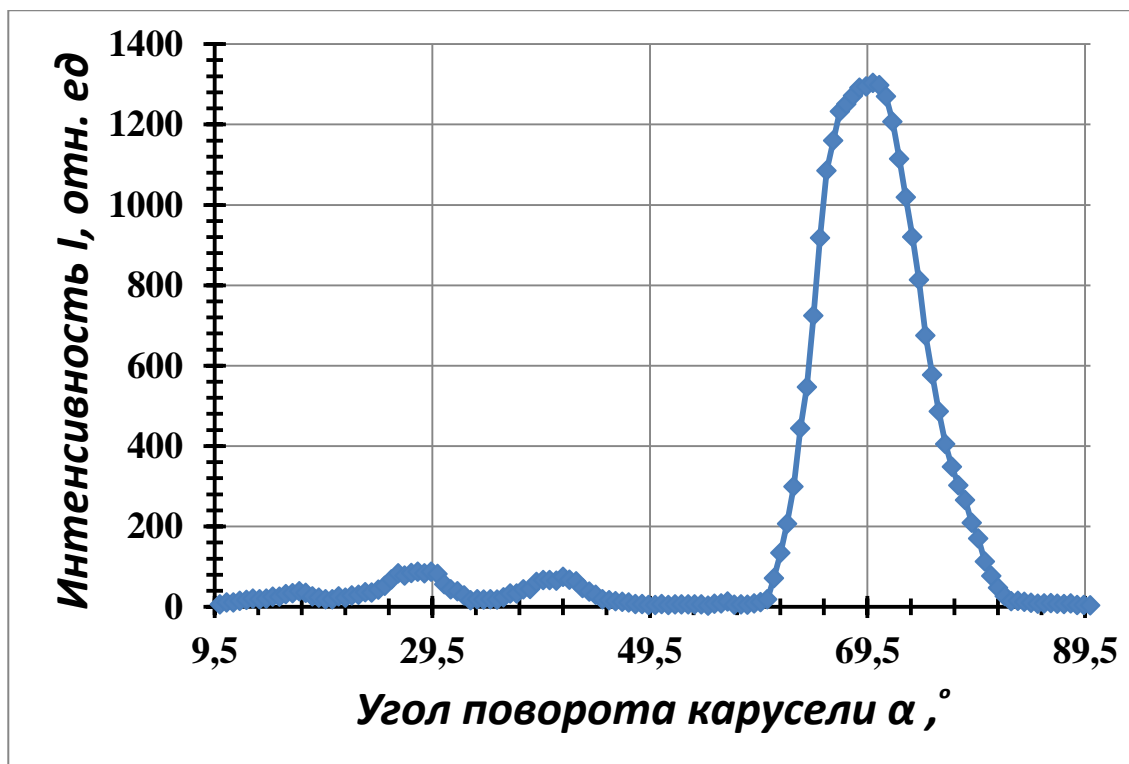


Рисунок 33– Измерение угла преломлённого луча при  $B=20^\circ$   
для  $\lambda=28.5$  мм

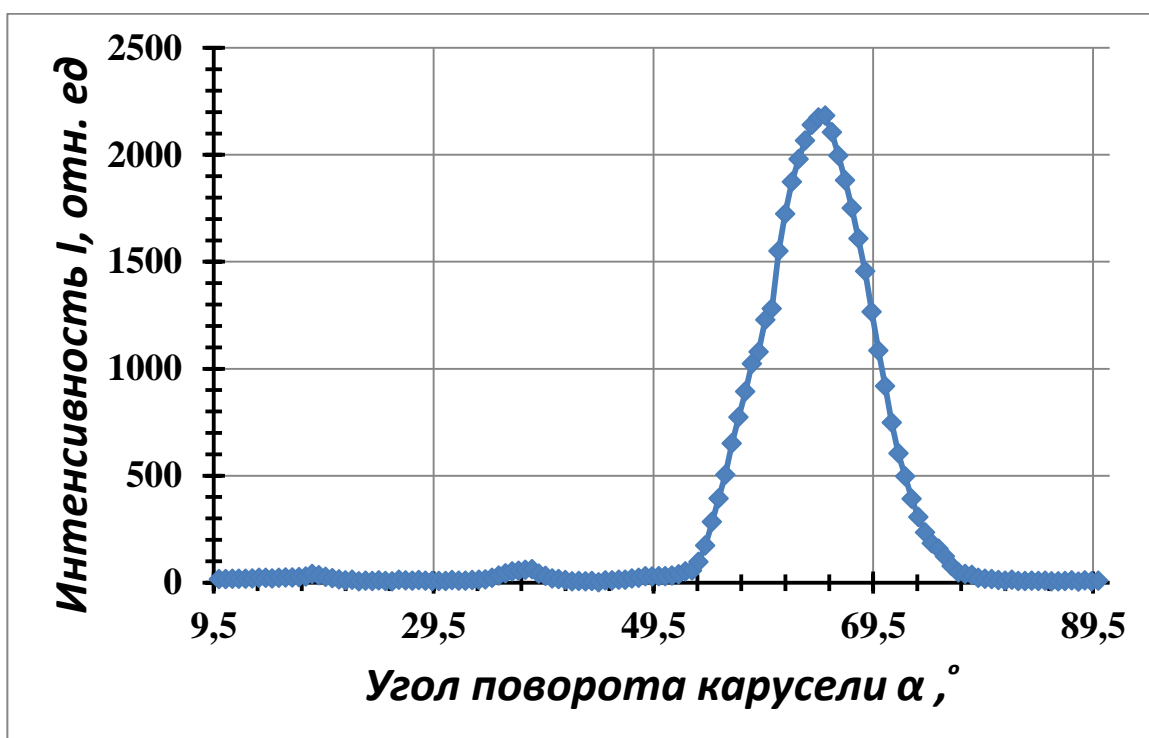


Рисунок 34 – Измерение угла преломлённого луча при  $B=30^\circ$   
для  $\lambda=28.5$  мм

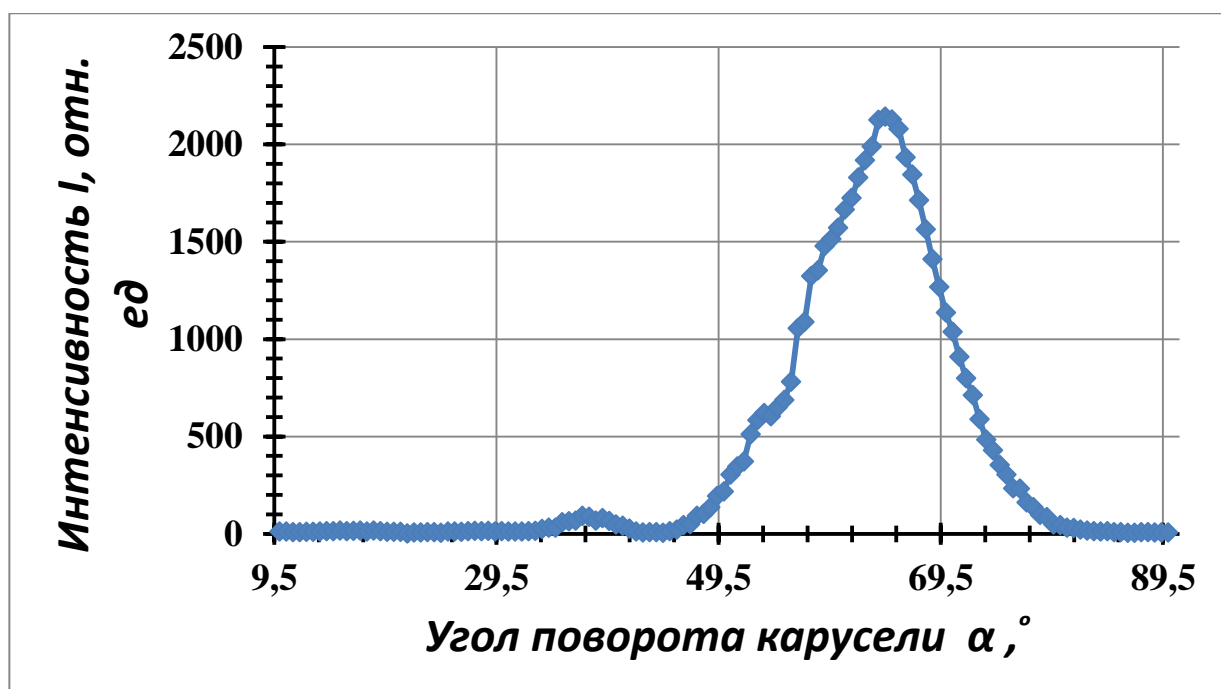


Рисунок 35– Измерение угла преломлённого луча при  $B=40^{\circ}$

для  $\lambda = 28,5$  мм

Таблица 3 – Результаты измерения показателя преломления для тефлоновой призмы при длине волны  $\lambda = 28,5$  мм

$B, ^{\circ}$	$X, ^{\circ}$	$K, ^{\circ}$	$K', ^{\circ}$	$n_2$	$n_{2 \text{ ср}}$
10	45	75,58	33,5	1,5209	1,5272
20		69,55		1,5326	
30		64,64		1,5282	

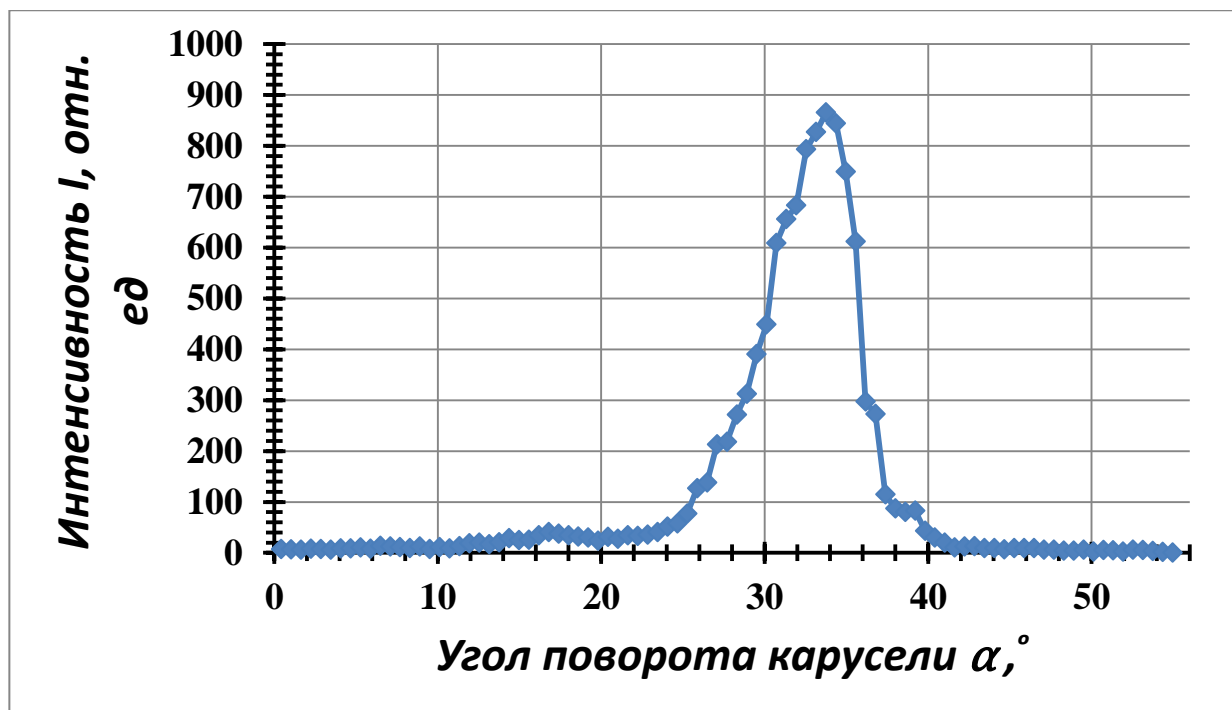


Рисунок 36 – Измерение угла падения первичного пучка, не испытавшего преломление, для  $\lambda = 28,5$  мм

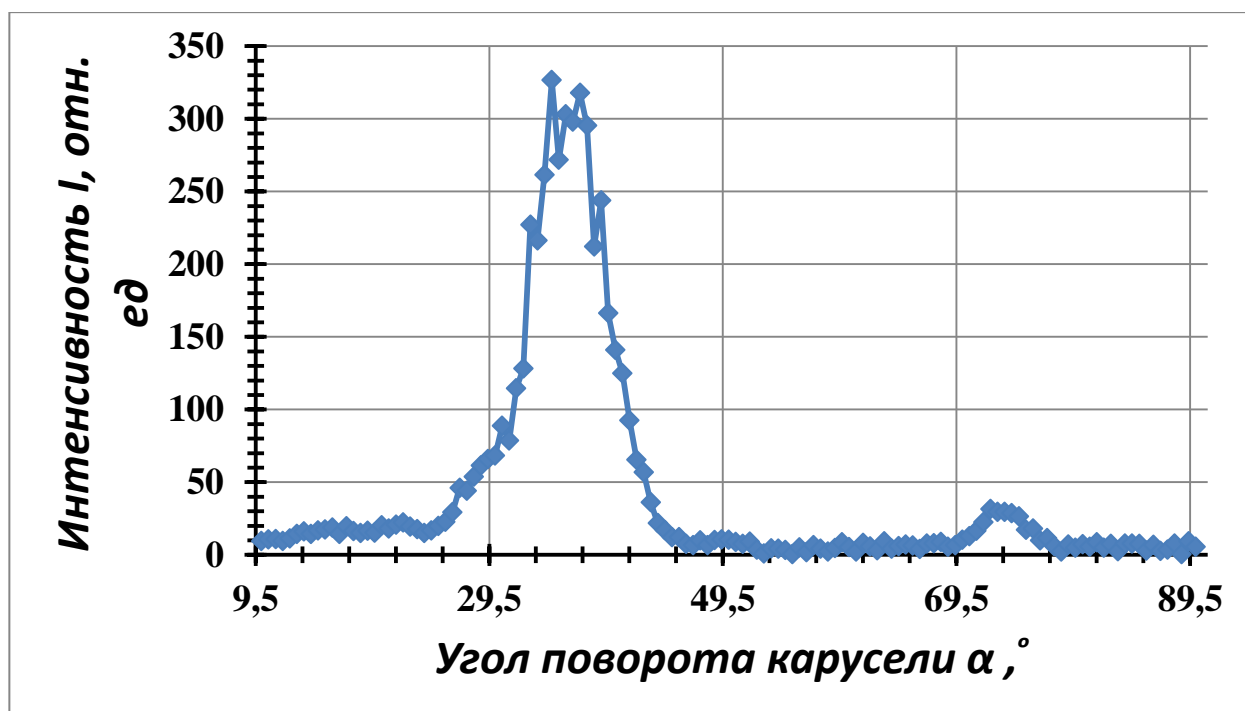


Рисунок 37 – Измерение угла преломлённого луча при  $B=20^0$   
для  $\lambda = 10$  мм

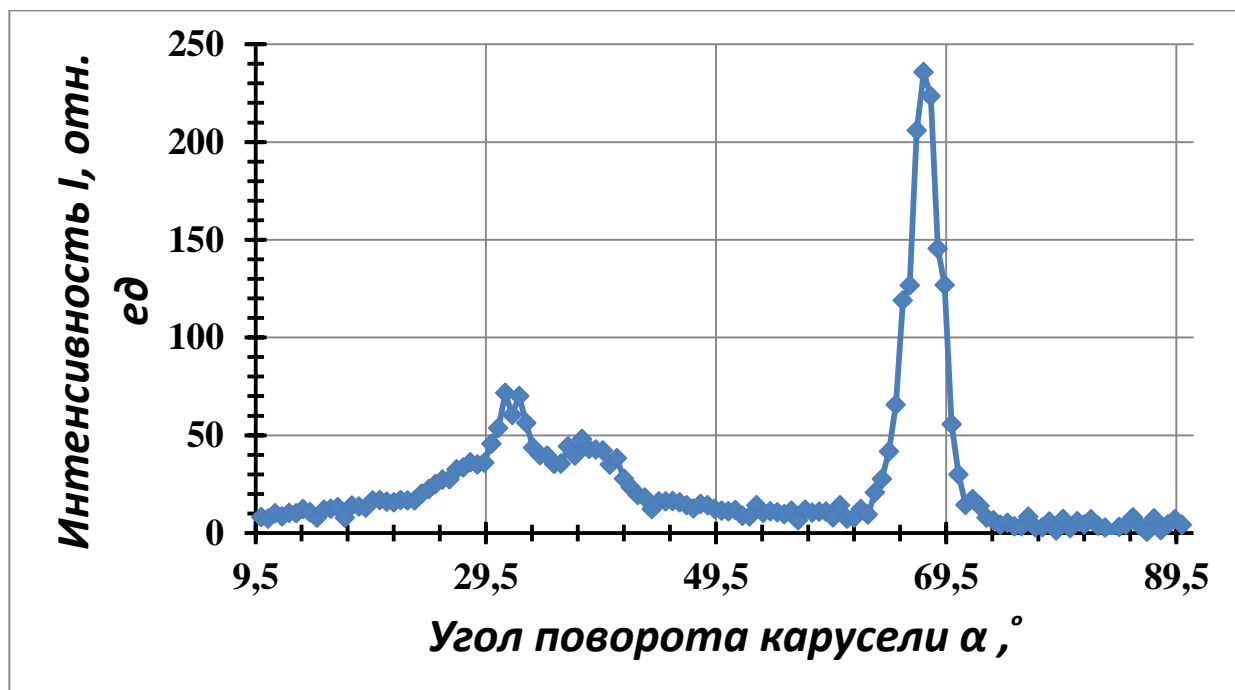


Рисунок 38 – Измерение угла преломлённого луча при  $B=30^\circ$

для  $\lambda=10$  мм

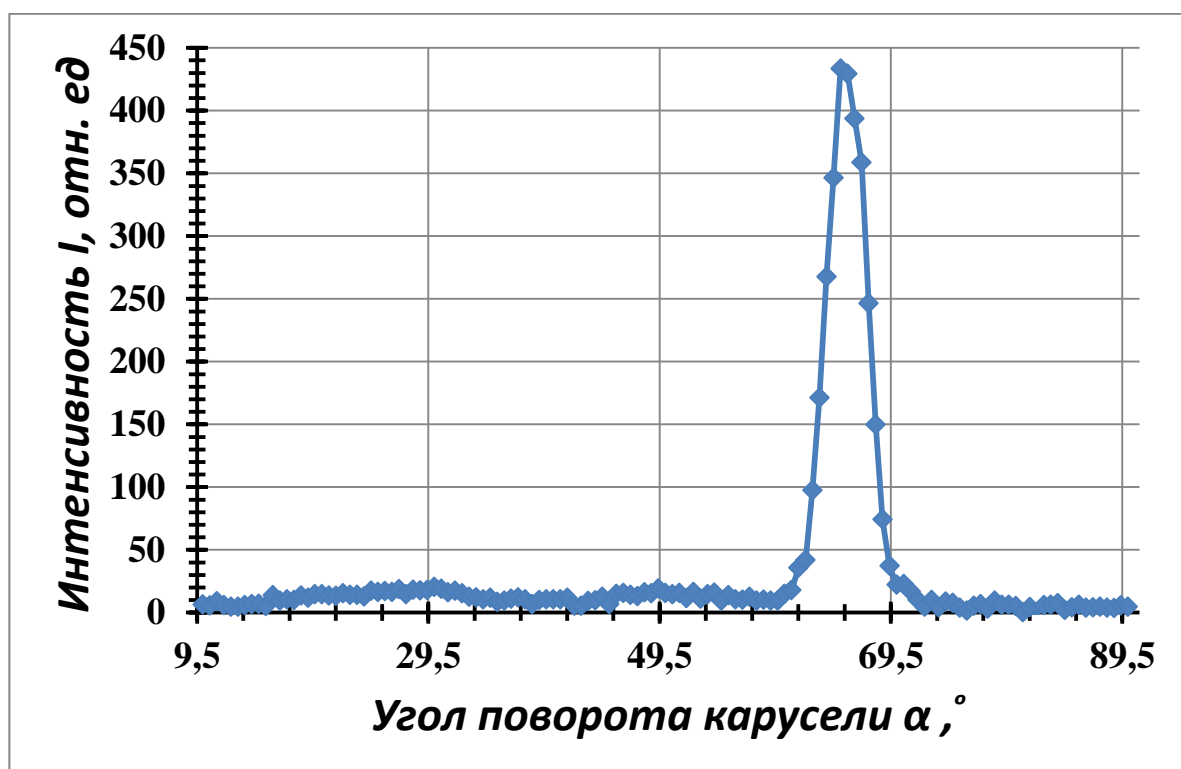


Рисунок 39– Измерение угла преломлённого луча при  $B=40^\circ$

для  $\lambda=10$  мм

Таблица 4 – Результаты измерения показателя преломления для тефлоновой призмы при длине волны  $\lambda = 10$  мм

$B, ^\circ$	$X, ^\circ$	$K, ^\circ$	$K', ^\circ$	$n_2$	$n_{2\text{ ср}}$
20	45	73,68	33,96	1,6033	1,5961
30		68,12		1,5873	
40		65,68		1,5976	

В конечном итоге получилось что спектральная дисперсия тефлона равна:

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{1,5272 - 1,5961}{28,5 \text{ мм} - 10 \text{ мм}} = \frac{-0,0689}{18,5 \text{ мм}} = -0,003724 \quad (63)$$

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Результатом исследования являются полученные спектрально – угловые характеристики излучения миллиметрового диапазона длин волн при взаимодействии с диэлектрическими мишенями.

### 5.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет внести коррективы в техническую реализацию научно–исследовательской работы. Также данный анализ помогает обогнать конкурентов в эффективности исследования.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, приведённой в таблице №2. В этой таблице сравниваются техническая ресурсоэффективность и экономическая ресурсоэффективность метода исследования спектрально–угловых характеристик излучения в миллиметровом диапазоне длин волн при взаимодействии с диэлектрическими мишенями с использованием интерферометра Мартина–Паппетта с другими двумя конкурентными методами. В точности это:

1. Бк1 – использование закона Снеллиуса для диэлектрической, прозрачной для данного излучения призмы;
2. Бк2 – использование интерферометра с разделением фронта двумя зеркалами.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Разрешение установки	0,25	4	3	3	1	0,75	0,75
2. Уровень шума	0,10	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Уровень полезного сигнала	0,10	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Требования к регистрирующим устройствам	0,15	3	4	4	0,45	0,6	0,6
5. Наблюдение результатов в режиме реального времени	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
6. Обработка результатов в режиме реального времени	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75

Продолжение таблицы 5

7. Возможность подключения к ПЭВМ	0,1	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Итого:	1	31	29	30	4,6	4,3	4,4

## 5.2 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта[].

Таблица 6 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно–исследовательского проекта (Strengths) :</b> Сил1: Достаточно высокая точность определения диэлектрических характеристик мишеней. Сил2: Достаточно высокая точность измерения интерферограммы излучения; Сил3: Отсутствие потерь в интенсивности излучения на входе интерферометра. Сил4: Измерения в приближении дальней зоны при использовании элемента установки “Карусель”.	<b>Слабые стороны научно–исследовательского проекта (Weaknesses):</b> Сл1: использование поляризационно чувствительного детектора. Сл2: Необходимость выставлять и проверять геометрию каждый раз при измерении интерферограммы. Сл3: Наличие ошибки позиционирования подвижного зеркала. Сл4: Колебания элемента установки “Карусель”.
<b>Возможности научно–исследовательского проекта (Opportunities):</b> В1: Расширение использования интерферометра	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Сильные стороны и возможности”: 1. Измерение дифракционного, переходного излучений от пучков релятивистских	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Слабые стороны и возможности”: 1. Разработка типовой установки для инфракрасной

<p>Мартин –Паппетта в экспериментах на пучке релятивистских электронов.</p> <p>В2: Расширение использования установки в инфракрасной спектроскопии, дефектоскопии.</p>	<p>электронов с использованием интерферометра Мартин–Паппетта.</p> <p>2. Усовершенствование алгоритма реконструкции спектра с использованием преобразования Фурье.</p>	<p>спектроскопии, дефектоскопии.</p> <p>2. Укоротить балку “Карусели”.</p> <p>3. Увеличить коэффициент редукции у шагового двигателя, который двигает подвижное зеркало. Поставить тройную редукцию.</p>
<p><b>Угрозы научно–исследовательского проекта (Threats):</b></p> <p>У1: Невозможность повышения разрешения установки</p> <p>У2: Отсутствие финансирования со стороны государства и частных компаний</p> <p>У3: Отставание исследований в смежных областях</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Сильные стороны и угрозы":</p> <p>1. Публикация полученных данных в научном сообществе.</p> <p>2. Сотрудничество с отечественными и зарубежными исследовательскими центрами.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей "Слабые стороны и угрозы":</p> <p>1. Патент на использование интерферометра Мартин – Паппетта в инфракрасной спектроскопии.</p> <p>2. Участие в отечественных и зарубежных грантовых конкурсах.</p> <p>3. Спонсирование со стороны университета.</p> <p>4. Стажировки членов научной группы в исследовательских центрах.</p>

### 5.3 Планирование научно–исследовательских работ

Научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки разбиваются на этапы в соответствии с ГОСТ 15.101-98, (для НИР) ГОСТ Р 15.201-2000 (для ОКР). В зависимости от характера и сложности НИОКР ГОСТ допускает разделение этапов на отдельные виды работ .

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели,



инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться от 3 до 15 человек. В рамках данной работы была сформирована рабочая группа, в состав которой вошли:

- Руководитель;
- Студент.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ по выполнению НИР, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок этапов и работ при выполнении ВКР приведен в таблице №5.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение работы среди исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Исполнитель
Разработка технического задания для НИР	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор материалов по теме	Руководитель
	3	Изучение материалов по теме	Студент
	4	Выбор направления исследования	Руководитель, Студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Планирование эксперимента	6	Изучение основных соотношений для проведения эксперимента	Студент
	7	Выбор геометрии эксперимента	Студент, руководитель
	8	Расчёт соотношений для выбранной геометрии	Студент
Проведение экспериментов	9	Установление элементов в положения в соответствии с геометрией эксперимента	Студент, руководитель
	10	Юстировка элементов установки	Студент, руководитель
	11	Получение экспериментальных данных	Студент, руководитель
	12	Обработка экспериментальных данных	Студент

Анализ экспериментальных данных	13	Построение графиков обработанных данных	Студент
	14	Анализ и описание результатов	Студент
Оформление отчётов по НИР	15	Проверка полученных данных	Руководитель
	16	Составление пояснительной записки	Студент
	17	Повторная проверка ВКР	Руководитель

#### 5.4 Структура работ в рамках научного исследования

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (64)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ниже приводится пример вычисления ожидаемой трудоёмкости выполнения работы с использованием формулы 61:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (65)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое

вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

#### 5.4.1 Разработка графика проведения научного исследования

В данной работе также производилось построение наиболее наглядного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (66)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (67)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22$$

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнитель	$t_{\min}$	$t_{\max}$	$t_{\text{ож}}$	$\chi_i$	$T_{\text{р.дн}}$	$T_{\text{к.дн}}$
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	3	1,8	1	1,8	2
2	Подбор материалов по теме	Руководитель	1,5	2	8,5	1	8,5	11
3	Изучение материалов по теме	Студент	21	25	22,6	1	22,6	28
4	Выбор	Руководитель	1	3	1,8	2	0,9	1

	направления исследования	ль, студент						
5	Календарное планирование работ по теме	Руководите ль	1	1,5	1,2	1	1,2	2
6	Изучение основных соотношений для проведения эксперимента	Студент	3	5	3,8	1	3,8	5
7	Выбор геометрии эксперимента	Студент, руководите ль	2	4	2,8	2	1,4	2
8	Расчёт соотношений для выбранной геометрии	Студент	3	5	3,8	1	3,8	5
9	Установление элементов в положения в соответствии с геометрией эксперимента	Студент, руководите ль	3	6	4,2	2	2,1	3
10	Юстировка элементов установки	Студент, руководите ль	1	2	1,4	2	0,7	1
11	Получение эксперименталь ных данных	Студент, руководите ль	8	14	10,4	2	5,2	7
12	Обработка эксперименталь ных данных	Студент	4	5	4,4	1	4,4	6
13	Построение графиков обработанных данных	Студент	2	3	2,4	1	2,4	3
14	Анализ и описание результатов	Студент	4	7	5,2	1	5,2	7
15	Проверка полученных данных	Руководите ль	1	1,5	1,2	1	1,2	2
16	Составление пояснительной	Студент	1	1,5	1,2	1	1,2	2

	записки							
17	Повторная проверка ВКР	Руководитель	6	11	8	1	8	10
Итого:			64,5	99,5	84,7	22	31/53,7	41/70

Таблица 9 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме

№ работы	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн	Продолжительность выполнения работ													
				февр			март			апр			май			Июнь	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■													
2	Подбор материалов по теме	Руководитель	11	■	■												
3	Изучение материалов по теме	Студент	28			■	■	■	■								
4	Выбор направления исследования	Руководитель, студент	1						■								
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	2						■								
6	Изучение основных соотношений для проведения эксперимента	Студент	5						■								
7	Выбор геометрии	Студент, руководитель	2							■							





где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица № 8);  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (70)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн (таблица №8).

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	7	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	244	241

Месячный оклад работника при учёте районного коэффициента для Томска  $k_p = 1,3$  вычисляется:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot 1,3 \quad (71)$$

Рассмотрим, например, для руководителя расчёт основной заработной платы. Действительная заработная плата руководителя равна 33775,83 рубля.

$$Z_{\text{м}} = 33775,83 \cdot 1,3 \text{ руб} = 43908,58 \text{ руб./месяц}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{43908,58 \cdot 10,4}{244} = 1871,51 \frac{\text{руб}}{\text{дн}}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1871,51 \cdot 31 = 58016,91 \text{ руб}$$

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб	$k_p$	$Z_{\text{м}}$ , руб./месяц	$Z_{\text{дн}}$ ,	$T_p$ , раб.	$Z_{\text{осн}}$ , руб
-------------	-----------------------	-------	--------------------------------	-------------------	--------------	------------------------



				руб/день	дн.	
Руководитель	33775,83	1,3	43908,58	1871,51	31	58016,91
Студент	9893,00	1,3	12860,90	555	53,7	29803,5
Итого $Z_{\text{осн}}$						87820,41

### 5.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (72)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 12 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$ , руб	$Z_{\text{доп}}$ , руб
Руководитель	0,12	58016,91	6962
Студент	0,12	29803,5	3576,42
Итого $Z_{\text{осн}}$			10538,42

### 5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (73)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%<sup>1</sup>.

$$k_{внеб} = k_{пф} + k_c + k_{пн}, \quad (74)$$

где  $k_{пф}$  – коэффициент отчисления в пенсионный фонд;  $k_c$  – коэффициент отчисления страховых взносов;  $k_{пн}$  – коэффициент отчисления в подоходный налог.

$$k_{внеб} = 0,271$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя и студента будут вычисляться следующим способом:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (75)$$

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Наименование	Руководитель	Студент
Основная заработная плата , руб.	58016,91	29803,5
Дополнительная заработная плата, руб.	6962	3576,42
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	0,271
Сумма отчислений руководителя	17609,28	9046
Итого	17609,28	9046

<sup>1</sup> Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

### 5.5.5 Накладные расходы

В данный раздел входят расходы на обеспечение аппаратуры электроэнергией. Мощность потребляемой электроэнергии составляет 65 Вт. Стоимость 1 кВт · час электроэнергии равна 5,8 руб.

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}}, \quad (76)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию;  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

$$C = 5,8 \cdot 0,365 \cdot 322,2 \text{ кВт} \cdot \text{час} = 682,1 \text{ руб}$$

Затраты на электроэнергию составили 682,1 руб.

### 5.5.6 Формирование бюджета затрат научно– исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице № 12.

Таблица 14 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	18803,64
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	—
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	87820,41
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10538,42
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26655,28
6. Затраты на научные и производственные командировки	—
7. Контрагентские расходы	—
8. Накладные расходы	682,1
9. Бюджет затрат НТИ	144499,85

## 5.6 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (77)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (78)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы.

Исп.1 – использование интерферометра Мартина – Паппетта;

Исп.2 – использование закона преломления излучения;

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Разрешение установки	0,2	5	4
2. Время проведения эксперимента	0,1	3	4
3. Удобство эксплуатации	0,2	4	3
4. Особые требования к детектору	0,25	4	4
5. Требования к геометрии мишени	0,25	4	3
Итого	1		

$$I_{p-исп1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 \\ = 1 + 0,3 + 0,8 + 1 + 1 = 4,1$$

$$I_{p-исп2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 \\ = 0,8 + 0,4 + 0,6 + 1 + 0,75 = 3,55$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i.}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (79)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (80)$$

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Исп. 1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,1	3,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,55	0,865

## 6 Социальная ответственность

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [1], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – это фактор, воздействие которого на работника в определённых условиях, приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

### **6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов. Классификация указанных выше факторов осуществляется следующим образом:

1. Физические;
2. Химические;
3. Биологические;
4. Психофизиологические.

Выпускная квалификационная работа выполнялась в отделении ядерно–топливного цикла инженерной школы ядерных технологий. Работа проводилась с использованием излучателя миллиметрового диапазона длин волн на основе диода Ганна и ЭВМ.

На персонал, работающий с данным излучателем и, в дальнейшем занимающийся обработкой экспериментальных данных, воздействуют два вредных фактора:

1. Физические: излучение ГГц частоты (крайне высокочастотное излучение), электромагнитное поле низкой частоты, шум, статическое электричество, температура, влажность воздуха, освещённость;
2. Психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

### **6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе с ПК и излучателем**

#### **6.2.1 Организация рабочего места оператора ПК**

Весь рабочий персонал обязан знать и строго выполнять правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.



### 6.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства как показано на рисунке.

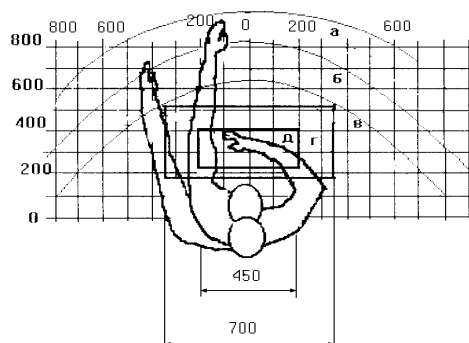


Рисунок 40 - Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация : в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более  $45^{\circ}$  к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять  $30^{\circ}$ . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости  $15^{\circ}$ . Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

### **6.2.3 Условия безопасной работы**

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения

характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [17] и приведены в таблице 17.

Таблица 17 Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20 – 25 °С, зимой – 13 – 15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

В данной работе проводилось исследование спектрально–угловых характеристик излучения миллиметрового диапазона с мишенями. У

излучения миллиметрового диапазона длин волн, иногда данный диапазон называют крайне высокочастотным излучением, обладает воздействием на кожу человека. Воздействие выражено в нагревании тела человека, что вызывает поляризацию молекул тканей тела человека, колебание и резонанс макромолекул и биологических, перемещение ионов, нервные реакции.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что при облучении человека излучением миллиметрового диапазона в тканях происходят сложные процессы, которые могут привести к нарушению нормального функционирования кожного покрова и, в последствии, всего организма.

Нормы допустимой интенсивности излучения устанавливаются для обеспечения безопасных условий труда работающего с источниками излучения персонала, а также всех окружающих лиц.

Предельно допустимая плотность потока энергии электромагнитных полей в диапазоне от 300 МГц – 300 ГГц и время пребывания на рабочих местах составляют: для пребывания в течение рабочего дня плотность потока энергии должна составлять до  $0.1 \text{ Вт/м}^2$ , для пребывания не более 2 часов  $0.1 - 1 \text{ Вт/м}^2$ , но в остальное рабочее время плотность потока не должна превышать  $0.1 \text{ Вт/м}^2$ , в случае пребывания не более 20 минут  $1 - 10 \text{ Вт/м}^2$  при условии использования защитных очков.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [17] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц -  $25 \text{ В/м}$ ;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц -  $2.5 \text{ В/м}$ .

Плотность магнитного потока должна быть не более:

в диапазоне частот 5Гц-2кГц -  $250 \text{ нТл}$ ;

в диапазоне частот 2кГц-400кГц -  $25 \text{ нТл}$ .

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет  $50 \text{ мкбэр/час}$ . По нормам [17] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность

экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

### **6.3 Электробезопасность**

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими электроустановками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор работает с электроприборами:

1. компьютером (дисплей, системный блок и т.д.);
2. периферийными устройствами;
3. излучателем на основе диода Ганна;
4. детектором миллиметрового диапазона длин волн.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

1. при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
2. при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
3. при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
4. при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

1. Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
2. вывешивание плакатов, указывающих место работы;

3. заземление корпусов всех установок через нулевой провод, покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией ;
4. недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей).

#### **6.4 Пожарная и взрывная безопасность**

Согласно [15], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

-применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

-правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

-правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);

-обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;

-издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;

-соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

-правильное размещение оборудования;

-своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## **Заключение**

В ходе выполнения ВКР было проделано следующее:

- Проведён обзор литературы по тематике работы.
- Разработана методика определения показателя преломления материала для излучения миллиметрового диапазона длин волн.
- Определены показатели преломления новых материалов, полученных на 3D принтере, для излучения в миллиметровом диапазоне длин волн.
- Использована периодическая решётка в роли монохроматора излучения.
- Получено дисперсионное соотношение для периодической решётки, при отражении излучения.
- Достигнута монохроматизация излучения при использовании периодической решётки.
- Выведено соотношение для определения показателя преломления тефлона, при преломлении излучения в тефлоновой призме.
- Изучена спектральная дисперсия тефлоновой призмы.



## Список литературы

1. Курс общей физики: в 5 кн.: кн.4. : Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов/ И. В. Савельев. – М.: АСТ: Астрель, 2008. – 256 с.: ил.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т.IV. Оптика. – 3-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 792 с. – ISBN 5-9221-0228-1.
3. James W. Lamb “Miscellaneous data on materials for millimeter and submillimetre optics”.
4. G. Naumenko, A. Potylitsyn, V. Bleko, V. Soboleva, S. Stuchebrov. “Cherenkov radiation from the target with predetermined dielectric properties, produced by a 3D – printer.”. Elseiver. В 402 (2017) 194 – 197.
5. Lars Frohlich. “Bunch Length Measurement Using a Martin – Puplett Interferometer at the VUV - FEL”. Diploma Thesis. DESY – THESIS 2005-011. June 2005.
6. ГОСТ 12.0.002-80. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
7. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 1997 г.
8. Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" (утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995г. N18-78)
9. ГОСТ 12.1.030-81, Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
10. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. 31 окт. 1995 г.
11. ГОСТ 12.4.009-83, Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.